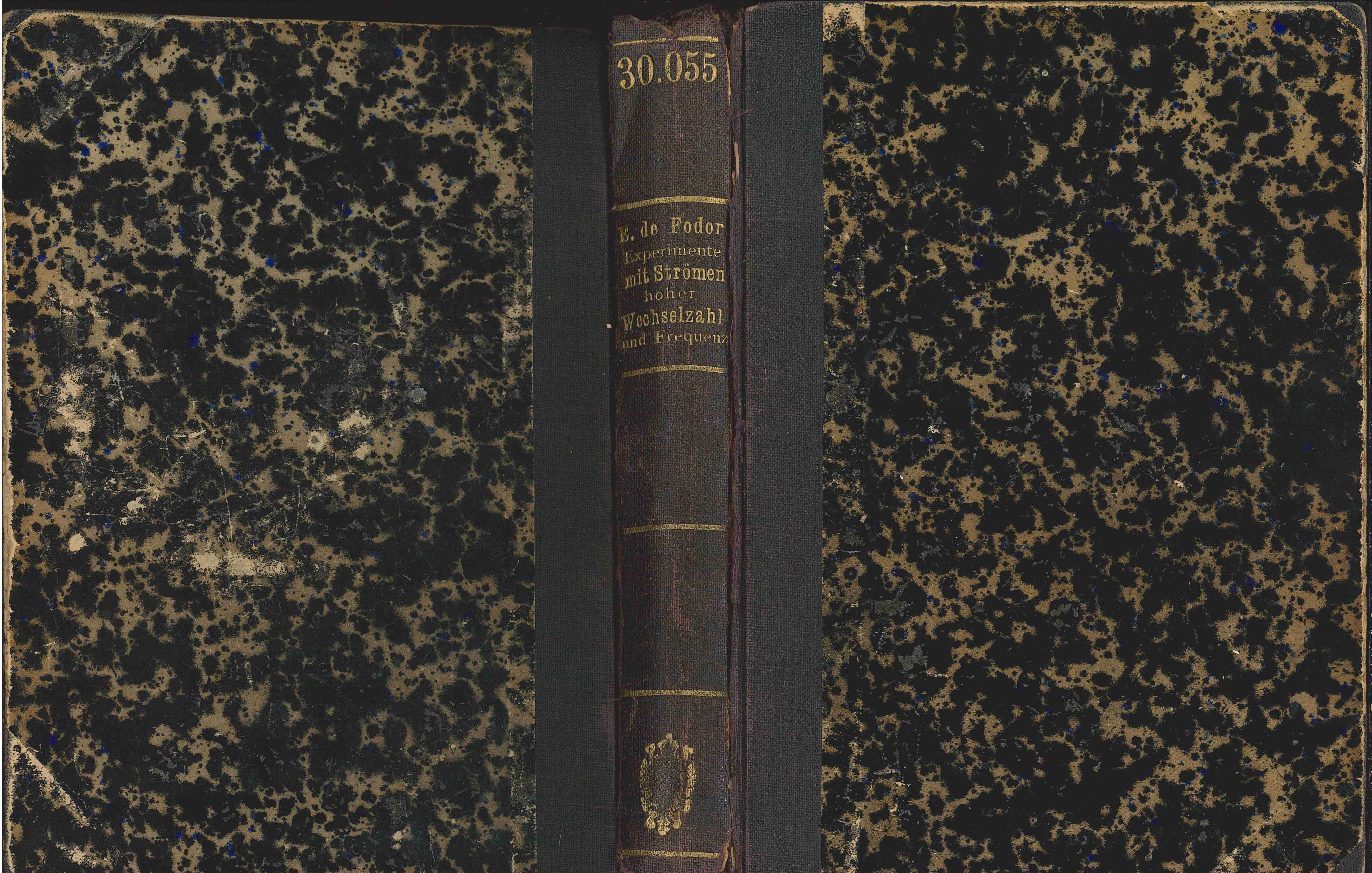

30.055
E. de Fodor
Experimente
mit Strömen
hoher
Wechselzahl
und Frequenz



Experimente

mit

# Strömen hoher Wechselzahl

und

# Frequenz.

Zusammengestellt von

ETIENNE DE FODOR

Director der elektr. Centralstation in Athen.

Revidirt und mit Anmerkungen versehen von

NIKOLAS TESLA.

Mit 94 Abbildungen.





WIEN. PEST. LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG.

1894.

K. u. k. Hofbuchdruckerei Carl Fromme in Wien.

# Vorrede.

Den Hauptinhalt des vorliegenden Werkes bilden die Versuche mit Wechselströmen hoher Spannung und Frequenz, welche Nikola Tesla in seinen verschiedenen Vorlesungen vorgeführt hat. Die erste Aufgabe des Verfassers war es, die hierauf bezüglichen Erklärungen und Ansichten Tesla's zu sammeln und aneinander zu reihen.

Im Verfolge dieser Arbeit ist es dem Verfasser nothwendig erschienen, auch die Versuche J. J. Thomson's, Elihu Thomson's, sowie einige Experimente von Crookes — als dessen überzeugten Anhänger sich Tesla bekennt — in den Bereich dieses Werkes mit einzubeziehen.

Der Verfasser hat es ferner für angezeigt erachtet, aus der ihm bekannten Fachliteratur jene Quellen anzugeben, welche sich bei einem eingehenden Studium der von Tesla angeregten Fragen, als nützlich erweisen könnten. Auch sind dort, wo es zum besseren Verständniss nothwendig erschien, Auszüge aus Arbeiten fremder Autoren beigefügt und auch historische Notizen beigegeben worden.

Bei Eintheilung des zur Verfügung stehenden Materiales war hauptsächlich der praktische Standpunkt massgebend, welcher sich aus den anfänglichen Laboratoriumsversuchen Tesla's entwickelte. Das eigentliche, wenn auch nicht bestimmt ausgesprochene Ziel seiner Forschungen ist: eine neue, praktischere und billigere Beleuchtungsart, als es die gegenwärtigen sind, zu schaffen. Inwieweit Tesla diesem Ziele nahe gekommen ist, mag aus dem vorliegenden Werke ersehen werden, welches der Verfasser dem Wohlwollen und der freundlichen Nachsicht des Lesers empfiehlt.

N. Tesla war so freundlich, das Manuscript dieses Buches einer genauen Durchsicht zu unterziehen und dasselbe mit einigen Bemerkungen zu versehen, wofür ihm an dieser Stelle herzlichen Dank sagt

der Verfasser.

# Inhalt.

# Illustrations-Verzeichniss.

---

# Namen- und Sachregister.

# Allgemeines.

**Einleitung.** Unter allen Versuchen, welche in neuester Zeit mit elektrischen Strömen hoher Wechselzahl und Spannung angestellt wurden, haben die von Nikola Tesla ausgeführten das grösste Aufsehen erregt. Bevor wir uns mit der Aufzählung und Beschreibung dieser interessanten Experimente befassen, müssen wir uns früher mit dem Gedankengange vertraut machen, welcher den genannten Forscher seinem eigentlichen Ziele: der Schaffung einer neuen Lichtquelle, oder besser gesagt, einer neuen Beleuchtungsart: dem „Licht der Zukunft", nahe geführt hat.

„Die Natur — sagt Tesla — hat in dem Universum unendliche Energie aufgespeichert. Der ewige Empfänger und Uebermittler dieser unendlichen Energie ist der Aether. Es ist eines der wichtigsten Ergebnisse neuerer Forschung, dass wir durch dieselbe von dem Vorhandensein des Aethers überzeugt wurden und von seinen Wirkungen einen annähernden Begriff bekommen haben. Diese Ueberzeugung hat uns mit einem grossen Schritte dem besseren Verständniss der Naturkräfte und ihrer Wirkungen genähert. Das Aufgeben der Idee von der Fern-

wirkung, die Vorraussetzung eines den ganzen Raum erfüllenden Mediums hat den Geist der Denker von so manchen Zweifeln befreit, und vielen von altersher bekannten Phänomenen ein neues Interesse verliehen.*)

„Der Entladungsfunke einer Inductionsspule, das Glühen des Kohlenfadens in einer elektrischen Lampe, die mechanischen Wirkungen der Magnete und der elektrischen Ströme, sind nicht mehr unfassbare Phänomene für uns; wir führen dieselben jetzt auf einen einfachen Vorgang zurück, dessen wirkliche Natur uns zwar noch immer nicht ganz erschlossen ist, welcher aber dennoch unserem endlichen Verständniss sehr nahe gekommen ist.

„Von allen äusserlichen Wahrnehmungen der unermesslichen, alles durchdringenden Energie, welche stets wechselnd und in ewiger Bewegung, einer Seele gleich, das Universum belebt, sind jene der Elektricität und des Magnetismus vielleicht die fesselndsten. Was ist Elektricität? Man hat sich diese Frage schon oft gestellt, ohne dass man eine zufriedenstellende Antwort dafür gefunden hätte. Heute glauben wir, der Lösung dieses Problems näher gerückt zu sein. Wir sind beinahe davon überzeugt, dass die elektrischen und magnetischen Phänomene dem Aether zuzuschreiben sind. Wir fühlen die Berechtigung, anzunehmen, dass

*) Helmholtz: „On the modern development of Faraday's Conception of Electricity." A Lecture delivered before the Fellows of the Chemical Society. April 5, 1881, London. The Electrician, June 18, 1881.



die Wirkungen der statischen Elektricität auf Aetherspannungen zurückzuführen seien, während die dynamoelektrischen und elektromagnetischen Wirkungen von Aetherbewegungen hervorgerufen werden.

„Zuerst fragen wir uns: „Was ist Elektricität und giebt es überhaupt etwas, was Elektricität genannt werden könnte?"

„Bei der Erläuterung elektrischer Phänomene können wir entweder von einem elektrischen Zustande oder von elektrischen Wirkungen reden. Handelt es sich um letztere, so müssen wir zwischen zwei einander entgegengesetzten, sich gegenseitig aufhebenden Wirkungen unterscheiden, da uns die Erfahrung lehrt, dass es thatsächlich zwei solche entgegengesetzte Wirkungen giebt. Ihr Vorhandensein ergiebt sich von selbst; denn es können in einem Medium von solchen Eigenschaften, wie sie dem Aether zugeschrieben werden, keine Spannungen, Verschiebungen oder Bewegungen hervorgerufen werden, ohne dass dieselben nicht in dem umgebenden Medium eine gleichwerthige entgegengesetzte Wirkung hervorriefen. Wenn wir aber von der Elektricität als einem Ding sprechen, müssen wir die Vorstellung von zwei Elektricitäten, (Fluida) einer positiven und einer negativen, fallen lassen. Wie könnten wir annehmen, dass es zwei solche Dinge gäbe, in Menge und in Eigenschaften gleich, jedoch entgegengesetzten Sinnes, sich gegenseitig aufhebend? Wenn es ein Ding giebt, dem man den Namen Elektricität beilegen will, dann kann es nur ein einziges solches Ding sein, dessen positiver oder negativer

Charakter, durch Ueberschuss oder Mangel, oder durch seinen jeweiligen Zustand bestimmt wird."*)

Tesla schliesst sich der Ueberzeugung an, dass es ein Ding gebe, welchem man gewöhnlich den Namen Elektricität beilege. „Nur fragt man sich, wie ist dieses Ding beschaffen? Oder: Was können wir von allen uns bekannten Dingen am besten Elektricität nennen? Wir nehmen an, dass es sich wie ein unzusammendrückbares Fluidum verhält, ferner, dass eine

*) „Nach der Theorie von einem einzigen Fluidum, an welche die Theorie von Maxwell wieder anknüpft, setzt man voraus, dass sich auf jedem Körper im neutralen Zustande eine gewisse Menge positiver Elektricität befindet. Einen Körper, der eine grössere Menge positiver Elektricität enthält, als er normalerweise enthalten sollte, nennt man positiv geladen, im entgegengesetzten Falle ist er negativ geladen. Zur Erklärung der elektrischen Anziehung und Abstossung in dieser Theorie nimmt man an, dass die elektrischen Molecüle untereinander sich abstossen, während umgekehrt zwischen den elektrischen und materiellen Molecülen Anziehung herrscht. Diese Anziehung und Abstossung soll ausserdem in der Richtung der Verbindungslinie der Molecüle vor sich gehen, und zwar umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung. Unter diesen Bedingungen muss die in einem neutralen Körper enthaltene Menge positiver Elektricität so gross sein, dass die Abstossung, welche sie auf ein elektrisches Molecül ausserhalb des Körpers ausübt, gleich ist der Anziehung, welche von der Materie des Körpers auf dieses Molecül ausgeübt wird. (Siehe Poincaré: „Elektricität und Optik". Deutsche Ausgabe von Jaeger und Gumlich, Berlin, 1891—1892.)



constante Menge desselben in dem Universum vorhanden sein muss, dass es weder erzeugt noch zerstört werden kann. Die „elektromagnetische Licht-Theorie", von Maxwell aufgestellt,*) lehrt uns, dass die elektrischen Phänomene mit anderen identisch seien und es liegt der Gedanke nahe, dass Elektricität „Aether" genannt werden könnte.

„Dieser Ansicht wurde in gewissem Maasse von Professor Lodge das Wort geredet. Sein interessantes Werk wurde allseitig gelesen und seine Argumente sind Vielen zur Ueberzeugung geworden, obwohl wir

*) „Eines der wichtigsten Ergebnisse aus dieser Theorie ist die Uebereinstimmung der wesentlichen Eigenschaften des Aethers, der nach Fresnel die Lichtschwingungen übermittelt, mit denjenigen des Fluidum, welches nach der Voraussetzung von Maxwell den elektromagnetischen Wirkungen zu Grunde liegt. Diese Uebereinstimmung der Eigenschaften ist in der That eine Bestätigung der Ansicht von dem Vorhandensein eines Fluidums, das als Träger der Energie dient. — Da der Aether und das Maxwell'sche Fluidum dieselben Eigenschaften besitzen, so lässt sich das Licht als ein elektromagnetischer Vorgang betrachten, und die Schwingungsbewegung, welche auf unserer Netzhaut den Eindruck einer Lichterscheinung hervorruft, muss von periodischen Störungen des magnetischen Feldes herrühren. Wenn dem so ist, so wird man aus den allgemeinen Gleichungen dieses Feldes die Erklärung der Lichterscheinungen ableiten können. Dieser Erklärungsweise hat man den Namen der „Elektromagnetischen Theorie des Lichtes" gegeben. (Siehe Poincaré: „Elektricität und Optik".) Siehe auch die einschlägigen Theorien von Edlund und Helmholtz.

es in Wirklichkeit doch nur mit einer genialen Erklärung zu thun haben." Tesla kann nicht an zwei Arten von Elektricität und auch nicht an einen zweifach gearteten Aether glauben. „Das sonderbare Verhalten des Aethers als eines Solidum zu Wärme- und Lichtwellen, und dann wieder sein Verhalten als ein Fluidum zur Bewegung der ihn durchstreifenden Körper, findet wohl seine natürlichste und zufriedenstellendste Erklärung darin, dass man sich den Aether, wie es Sir William Thomson[1]) gethan hat, als in steter Bewegung befindlich, vorstellt.[2]) Es ergiebt sich aber hieraus kein Anhaltspunkt für die Annahme, dass ein Fluidum deshalb, weil es einige Hunderte oder Tausende von Transversalschwingungen in der Secunde nicht übermitteln könne, auch dann für die Uebermittelung dieser Wellen ungeeignet wäre, wenn dieselben allenfalls Hunderte von Millionen und Millionen pro Secunde betrügen. Ebenso

[1]) „Ether, Electricity and Ponderable Matter." By Sir W. Thomson. Presidential Adress delivered before the London Institution of Electrical Engineers 1889.

[2]) Oliver Heaviside charakterisirt Sir W. Thomson's Aether-Theorie folgendermassen: „But the difficulties in the way of a complete and satisfactory representation of electro-magnetic phenomena by an elastic-solid ether are insuperable. Recognising this, Sir W. Thomson has recently brought out a new ether: rotational ether. It is incompressible and has no true rigidity, but possesses a quasi-rigidity arising from elastic resistance to absolute rotation." Siehe: „The rotational ether in its application to electro-magnetism." The Electrician, January 23, 1891. Siehe ferner „Electromagnetic theory", von demselben Autor, im Electrician 1892 und 1893.



kann auch Niemand erweisen, dass von einer Wechselstrommaschine, welche Ströme von geringer Wechselzahl hervorbringt, transversale Aetherwellen ausgehen; für so geringe Störungen, wie die eben genannte, mag sich der Aether, wenn im Ruhezustande, wie ein wirkliches Fluidum verhalten.

„Zu unserem Gegenstande zurückkehrend und uns vor Augen haltend, dass die Existenz von zwei Elektricitätsarten zum mindesten unwahrscheinlich ist, müssen wir dessen eingedenk sein, dass wir das Vorhandensein von Elektricität nicht erweisen können und daher auch der Elektricität nicht kurzhin die Bezeichnung „Aether" beilegen dürfen; wir können aber immerhin von ihr als von einer dem Aether beigesellten Materie oder von „gebundenem Aether" sprechen. Wir können in anderen Worten sagen, dass die sogenannte statische Ladung der Molecüle aus Aether bestehe, welcher dem Molecüle in irgend einer Weise beigesellt ist. Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet, könnten wir mit Berechtigung annehmen, dass Elektricität bei allen molecularen Wirkungen auftrete.

„Von dem eigentlichen Wesen des die Molecüle umgebenden Aethers und von den Merkmalen, welche ihn von dem Aether im Allgemeinen unterscheiden, können wir uns bloss Vorstellungen machen. Der erstere kann sich vom letzteren in Dichtigkeit nicht unterscheiden, da der Aether unzusammendrückbar ist; er muss sich daher unter einem gewissen Druck oder in Bewegung befinden, was wohl am wahrscheinlichsten ist.

„Von allen Vorstellungen, welche man sich von der Natur macht, ist jene, welche eine Materie und eine Kraft und eine vollkommene Gleichförmigkeit überall voraussetzt, die wissenschaftlich wahrscheinlichste. Ein unermessliches Universum, in welchem sich die Molecüle und ihre Atome, wie die Himmelskörper, in Bahnen bewegen, den Aether mit sich führend und denselben wahrscheinlich in Bewegung versetzend, erscheint uns am glaubhaftesten. Die Bewegung der Molecüle und deren Aether erzeugt Aetherspannungen oder elektrostatische Strömungen, der Ausgleich der Aetherspannungen erzeugt Aetherbewegungen oder elektrische Ströme, und die Bewegungen in Bahnen bringen die magnetischen Wirkungen hervor.

„Von allen den Phänomenen, welche sich dem Forscher auf diesem Gebiete zeigen, sind für uns jene der elektrischen Ströme am wichtigsten. Es ist nun ein Jahrhundert her, dass die erste praktische Art der Erzeugung elektrischer Ströme gefunden wurde; man hat die Phänomene, welche die letzteren begleiten, fleissig studirt und die einfachen Gesetze, welche ihnen zu Grunde liegen, klargelegt. Diese Gesetze können jedoch bloss auf Ströme von beständigem Charakter Anwendung finden. Wenn aber die Stromstärke rapid wechselt, dann erscheinen neue, unerwartete Phänomene, welche ganz anderen als den hergebrachten Gesetzen unterliegen: Gesetzen, welche nicht einmal noch in genügend präciser Weise festgestellt wurden.

**Eigenthümlichkeiten der Wechselströme.** „Die Phänomene, welche den Wechselströmen eigenthümlich



sind, treten viel bemerkenswerther auf, wenn die Wechselzahl der letzteren höher gemacht wird. Um das Studium dieser Ströme leichter zu gestalten, hat Tesla Wechselstrom-Maschinen construirt, mit welchen er mehr als zwei Millionen Stromwechsel per Minute hervorbrachte, und diesen Maschinen ist es zu danken, dass er den Kreis seiner Forschungen ausdehnen und seinem Ziele: der Schaffung einer praktischen und wirksamen Lichtquelle näher kommen konnte. — „Das Studium der Ströme hoher Wechselzahl ist sehr interessant; beinahe jedes Experiment deckt uns etwas Neues auf. Manche Resultate sind voraussehbar, manche wieder kommen ganz überraschend. Der Experimentator gelangt zu verschiedenen interessanten Wahrnehmungen: Man nimmt z. B. ein Eisenstück und hält es gegen einen Elektromagneten. Mit niederer Wechselzahl beginnend und dieselbe immer mehr und mehr vergrössernd, fühlen wir, wie die Impulse immer rascher und rascher aufeinander folgen, dann aber wieder schwächer und schwächer werden, bis sie endlich aufzuhören scheinen. Wir fühlen dann, dass die Anziehung eine continuirliche geworden ist. Dem ist aber nicht so, die Anziehung ist keineswegs eine continuirliche, sie erscheint uns nur so: unser Tastsinn ist zu unvollkommen, um die Aufeinanderfolge der Impulse wahrnehmen zu können.

Zwei von Strömen hoher Wechselzahl durchflossene Solenoïde ziehen sich entweder an oder stossen sich ab, gleichsam als kreiste in ihnen ein continuirlicher Strom. Ein Elektromagnet, wenn er von

Strömen hoher Wechselzahl erregt wird, zeigt das Verhalten eines permanenten Magneten. Unser Tastsinn ist zu wenig ausgebildet, als dass wir die Aufeinanderfolge der Impulse von Strömen hoher Wechselzahl über ein gewisses Maass hinaus wahrnehmen könnten, und deswegen erscheinen sie uns als continuirliche.

Wir stellen zwischen zwei Elektroden einen Lichtbogen her und bemerken, dass, je mehr die Wechselzahl zunimmt, auch der den Lichtbogen begleitende Ton immer schriller, dann aber wieder langsam schwächer und schwächer wird, bis er endlich ganz aufhört. Die Luftvibrationen setzen sich natürlich fort, dieselben folgen aber zu rasch aufeinander, als dass sie von uns wahrgenommen werden könnten — unser Gehör lässt uns im Stich.*)

„Wir nehmen die schwachen physiologischen Wirkungen solcher Ströme wahr, auch die rapide Erhitzung von Eisenkernen und Leitern, eigenthümliche Inductionseffecte, interessante Condensator-Phänomene und noch viel interessantere Lichterscheinungen, hervorgebracht durch eine Hochspannungs-Inductionsspule. Alle diese Wahrnehmungen sind für den Beobachter von grösstem Interesse, ihre Beschreibung würde uns aber zu sehr von dem eigentlichen Gegenstande dieses Buches

*) Eine besondere Eigenthümlichkeit eines solchen Lichtbogens ist seine Beständigkeit. Dieselbe kann theilweise dem Umstande zugeschrieben werden, dass die Gasstrecke zwischen den Elektroden sich nicht abkühlen und auch nicht an Widerstand zunehmen kann, und theilweise auch der constanten Stromintensität, welche Maschinen von hoher Wechselzahl aufweisen.



ablenken. Deswegen wollen wir hier bloss der Lichterscheinungen Erwähnung thun, welche von rapid wechselnden Strömen hervorgerufen werden. (Fig. 1.)

**Die Inductionsspule.**

„Gewöhnlich werden in einer Inductionsspule mässige Vibrationen des Stromes im Primärkreise entweder durch einen Unterbrecher oder durch eine Wechselstrommaschine hervorgebracht. Unsere heutigen Erfahrungen machen es uns klar, warum in früheren Zeiten die Inductionsspule unter solchen Bedingungen keine besonders bemerkenswerthen Phänomene hervorrief, und warum so manche gewiegte Forscher nicht schon damals auf jene interessanten Wahrnehmungen kamen, die wir heute machen können.

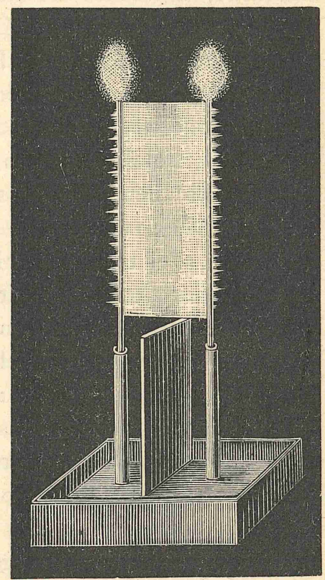


Fig. 1. Lichterscheinung, hervorgebracht durch eine von Strömen hoher Wechselzahl erregten Inductionsspule.

Gordon: „Four lectures on electrostatic induction". Delivered at the Royal Institution, January 16, 23, 30 and February 6, 1879. — The Electrician, 1879, Volume II, p. 159, 171, 188, 195, 207 u. 219.

Spottiswoode W.: „Electric Discharge in a magnetic field." A paper read before the Royal Institution, March 31, 1882. — The Electrician, April 8, 1882 p. 339.

„In allen den hier aufzuzählenden Experimenten geschieht die Erregung der Inductionsspule entweder durch eine eigens hierzu construirte Wechselstrommaschine, in welcher die Stromrichtung mehrere tausendmal in der Secunde wechselt, oder aber durch Condensator-Entladungen im Primärstromkreis, welche im Secundärkreis Schwingungen hervorrufen, deren Wechselzahl Hunderttausende oder Millionen per Secunde beträgt. Mit solchen Mitteln versehen, erschliesst sich dem Forscher ein neues unbekanntes Feld: Es werden mit hoher Wechselzahl und hohem Potential kräftige elektrostatische Effecte hervorgebracht.

**Schwierigkeiten bei Erzeugung von Strömen hoher Wechselzahl.** Hierbei sind aber manche Schwierigkeiten zu überwinden, welche von Tesla in folgender Weise beschrieben werden: „Die erste Schwierigkeit besteht darin, die gewünschte Wechselzahl mit Hilfe eines mechanischen Apparates zu erreichen. Versucht man dies mit anderen Apparaten, so stellen sich wieder andere Hindernisse in den Weg.

„Es ist schwierig, die gewünschte Isolationsfähigkeit aufrecht zu erhalten, wenn man nicht zugleich die Dimensionen des Apparates zu ausserordentlichen machen will; denn die erforderlichen Potentiale sind hohe, und in Folge der hohen Wechselzahl ist eine besondere Art von Isolation nothwendig. Die Entladung kann in Folge des molecularen Anprallens („Bombardement") die dickste Isolirschicht, sei sie nun aus Glas, Hartgummi, Porzellan, Wachs u. s. w., durchschlagen, falls dieselbe Gas enthält. Das hauptsächlichste Erforderniss einer guten Isolation ist daher der Ausschluss gasförmiger Körper aus derselben.



**Isolation.** „Ueberhaupt sollen — sagt Tesla weiter — seine Experimente auch erweisen, dass manche Körper von höchster specifischer Inductionscapacität, als z. B. Glas,*) eine weniger gute Isolationsfähigkeit besitzen, als andere, welche zwar gute Leiter sind, jedoch eine geringere specifische inductive Capacität besitzen, wie z. B. Oele. „Es hat dies wahrscheinlich darin seinen Grund, dass die dielektrischen Verluste im Glas höher sind wie im Oel. Die Schwierigkeit der Aufrechthaltung einer guten Isolirung besteht natürlich nur dann, wenn die Potentiale ausserordentlich hohe sind; bei Potentialen von einigen tausend Volts und bei einer Wechselzahl von beispielsweise 20.000 pro Secunde sind die Isolationsschwierigkeiten wenig bedeutende. Auch bei ausserordentlich hohen Potentialen sind diese Schwierigkeiten überwindbar, nur haben sie Einfluss auf die Grösse des Apparates, weil eben die Isolirschicht der Drähte sehr dick sein muss.

**Capacität und Selbstinduction.** „Eine andere Schwierigkeit bietet sich in der Capacität und in der

---

*) Beetz: „Ueber die Leitungsfähigkeit des Glases für Elektricität und Wärme". Poggendorff's Annalen, Jubelband 1874, p. 23.

Mach und Doubrava: „Ueber die elektrische Durchbrechung des Glases". Wied. Ann. Band VIII, 1879, p. 462.

Waltenhofen A.: „Ueber die elektrische Durchbohrung des Glases". Wied. Ann. Band VIII, 1879, p. 466.

Selbstinduction, welche die Inductionsspule aufweisen wird. Ist die Spule gross, d. h. ist ihre Drahtwickelung von bedeutender Länge, so kann sie nicht leicht für ausserordentlich hohe Wechselzahl angewendet werden; ist sie hingegen klein, so wird wieder das mit ihr erreichbare Potential verhältnissmässig gering ausfallen. Diese Hindernisse können nur mit Hilfe einer guten Isolirung überwunden werden, welche es zugleich ermöglicht, eine verhältnissmässig kleine Inductionsspule zu construiren, die enorme Potentialdifferenzen aushält, und dabei doch nur geringe Capacität und Selbstinduction aufweist.

„Wenn wir eine Inductionsspule mit Strömen hoher Wechselzahl erregen, so werden wir zum erstenmale die grosse Wichtigkeit des Verhältnisses der Capacität zur Selbstinduction und zur Wechselzahl, in Bezug auf das allgemeine Resultat, einsehen. Die Combination dieser Elemente führt zu bemerkenswerthen Resultaten. Man nehme beispielsweise zwei Metallplatten, verbinde dieselben mit je einem Spulenende und stelle zwischen den beiden Platten einen Lichtbogen her. Dieser Lichtbogen verhindert das Auftreten eines starken Stromes in der Spule. Wird der Lichtbogen durch Zwischenstellen einer Glasplatte unterbrochen, so wird die Capacität des auf diese Weise hergestellten Condensators der Selbstinduction in der Spule entgegenwirken und es wird in der letzteren ein stärkerer Strom auftreten. In diesen Experimenten sind es besonders die Wirkungen der Capacität, welche uns auffallen. Nachdem sowohl Wechselzahl als Selbstinduction hoch sind, ist die



kritische Capacität gering. Diese letztere bedarf aber nur einer geringfügigen Abänderung, um grosse Wirkungen hervorzubringen. Der Experimentator mag seinen Körper mit der Secundärwickelung der Spule in Verbindung bringen, oder an ein Spulenende oder auch an beide der Enden isolirte Körper, als Glaskugeln u. dgl. anschliessen, so wird er damit einen beträchtlichen Fall des Potentials und eine Veränderung des Stromes in dem Primärkreise hervorrufen. (Siehe Experiment S. 225.)

**Anwendung eines einzigen Leitungsdrahtes.** Eine der merkwürdigsten Eigenthümlichkeiten der Ströme hoher Wechselzahl ist jene, welche es uns ermöglicht, die mannigfachsten Experimente mit nur einem einzigen Leitungsdraht anstellen zu können.

Tesla hat in einem seiner „Drehstrom"-Motoren*) dadurch eine Rotation hervorgebracht, dass er mit Hilfe einer einzigen Stromleitung, im Motorenstromkreise, in der Masse oder in anderen Stromkreisen des Motors secundäre Ströme inducirte, welche im Vereine mit dem primären oder inducirenden Strome ein drehbares Kraftfeld hervorriefen. Eine einfache, aber rohe Form eines solchen Motors wird durch Bewickelung eines Eisenkernes mit einer Primärspule und einer, nahe zur letzteren liegenden Secundärspule erhalten; die Enden der Secundärspule sind durch Kurzschluss miteinander

*) Die Grundidee des Principes des „magnetischen Drehfeldes" wurde von mir im Jahre 1882 gefasst. N. T.

verbunden, und es wird eine frei bewegliche Metallscheibe in das durch beide Wickelungen hervorgerufene Kraftfeld gebracht. Der Eisenkern wurde aus naheliegenden Gründen angewendet, ist jedoch nicht absolut nothwendig. Wenn die Enden der Primärspule mit einer Wechselstrommaschine verbunden werden, setzt sich die Scheibe in Bewegung. (Siehe Fig. 2.)

Fig. 2 *bis*. Dasselbe.

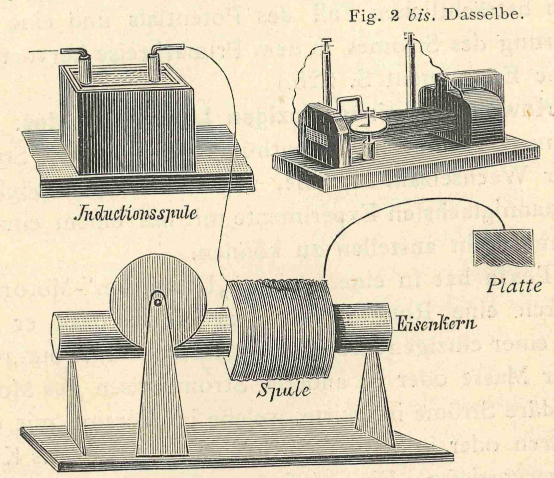



Fig. 2. Motor mit einem oder gar keinem Zuleitungsdrahte.

Werden aber zur Erregung Ströme von hoher Wechselzahl angewendet, so braucht man bloss ein einziges Primärspulenende mit einem Pol der Stromquelle (welche in diesem Falle die Secundärspule eines Hochspannungs-Inductoriums ist) zu verbinden, während das andere Spulenende und der andere Pol der Stromquelle im freien Raume isolirt bleiben. Um die Scheibe



in Bewegung zu versetzen, ist es (aber nicht absolut) nothwendig, das freie Ende der Motorenwickelung mit einem isolirten Körper von gewisser Grösse zu verbinden. Als solcher mag der Körper des Experimentirenden gelten. Wenn man das freie Spulenende mit einem in der Hand gehaltenen Gegenstand berührt, entsteht in der Spule ein Strom und die Scheibe setzt sich in Bewegung. Wird eine luftleere Röhre mit der Spulenwickelung auf Spannung geschaltet, so erhellt sich die erstere, den Durchgang eines starken Stromes anzeigend. Man kann als Anschluss anstatt des Körpers eine kleine, auf einer Schnur aufgehangene Metallplatte anwenden, welche in diesem Falle als ein mit der Spule auf Spannung geschalteter Condensator geltend, der Selbstinduction der Spule entgegenwirkt und den Durchgang eines starken Stromes zulässt. In einem solchen Experimente mag die Platte desto kleiner ausfallen, je grösser die Selbstinduction der Spule ist, und es wird in solchem Falle eine geringere Wechselzahl eventuell ein niedrigeres Potential zum Betrieb des Motors nothwendig sein. Eine einzige Wickelung auf dem Eisenkern besitzt eine hohe Selbstinduction — es wurde daher zur Vorführung des Experimentes speciell aus diesem Grunde eine Motorentype mit einer einzigen Wickelung gewählt. Gäbe es auf dem Kern eine zweite Wickelung, so würde dieser Umstand die Selbstinduction herabmindern und es würde weit höhere Wechselzahl und Potential erforderlich sein, was Beides nicht anzurathen wäre.

**Motoren ohne Zuleitungsdrähte.** „Dieser Motor besitzt aber noch eine andere interessante Eigenthüm-

lichkeit. Es bedarf nämlich, um ihn in Gang zu bringen, gar keiner leitenden Verbindung zwischen ihm und der Stromquelle, ausgenommen: man wollte als solche die Erde benützen. Eine isolirte Platte kann nicht nur Energie in den Raum abgeben, sie kann solche auch einem rapid wechselnden elektrostatischen Felde entnehmen. Man mag daher das eine Ende der Wickelung des Motors mit einem im elektrostatischen Felde befindlichen isolirten Gegenstand und das andere Ende am Besten mit der Erde verbinden.

Es ist möglich — sagt Tesla — solche „Motoren ohne Zuleitungsdrähte" auf bedeutende Distanzen durch einfache Ueberleitung in luftverdünntem Raume, in Gang zu bringen. „Wechselströme, besonders jene von grosser Wechselzahl, gehen mit erstaunlicher Leichtigkeit durch leicht verdünnte Gase. Die oberen Schichten der Luft befinden sich in verdünntem Zustande und es bedarf daher, um solche Ströme auf grosse Entfernungen fortzuleiten, bloss der Ueberwindung rein mechanischer Schwierigkeiten. Es unterliegt keinem Zweifel, dass mit den enormen Potentialen, welche wir durch hohe Wechselzahl und mit Hilfe der Oelisolation[1]) hervorbringen können, leuchtende Entladungen durch viele Meilen verdünnter Luft hindurch bewerkstelligt werden können, und dass wir durch eine derartige Uebermittelung der Energie von Hunderten und Tausenden von Pferdekräften, in einer bedeutenden Entfernung von der stationären Stromquelle, Motoren oder

[1]) Von den Vorzügen des Oeles als Isolator wird später die Rede sein.



Lampen in Betrieb setzen können. Solche Pläne werden hier nur als reine Möglichkeiten aufgezählt. Wir sollten es eben gar nicht nöthig haben, Kraft auf diese Weise zu übermitteln. Wir sollten Kraft überhaupt nicht zu übermitteln haben. Mit der Zeit werden unsere Maschinen von einer Kraft betrieben werden, welche an jedem Punkte des Weltalls erhältlich sein wird. Im Raume ist Energie vorhanden. Ist dieselbe statisch oder kinetisch? Wäre sie statisch, so wären unsere Hoffnungen umsonst; ist sie aber kinetisch — und wir wissen, dass dies der Fall ist — dann ist es bloss eine Frage der Zeit, wann wir unsere Maschinen an das Räderwerk der Natur anschliessen können. Von allen Forschern kam Crookes der Verwirklichung dieser Idee am nächsten. Sein Radiometer bewegt sich in der Tageshelle und im Dunkel der Nacht, er dreht sich überall, wo Wärme vorhanden ist. (Freilich ist diese so ausserordentlich interessante Maschine zugleich eine solche, welche von allen bis jetzt erfundenen den geringsten Nutzeffect aufweist).[1])

„Das eben angeführte Experiment ist bloss eines von den vielen interessanten Versuchen, welche bei Anwendung von Strömen hohen Potentials und hoher Wechselzahl, mit Anwendung eines einzigen Leitungsdrahtes, angestellt werden können. Wir können eine isolirte Leitung mit einer solchen Stromquelle ver-

[1]) Siehe: „Réflexions sur le second princip de la théorie mécanique de la chaleur à propos de la conférence de M. Tesla." La Lumière Electrique, tome XLIII, No 10.

binden und in derselben einen unberechenbaren Strom fortleiten und wir werden von jedem Punkte dieser Leitung aus einen so starken Strom ableiten können, dass er beispielsweise einen dicken Kupferdraht durchzuschmelzen im Stande wäre. Wir können mit Hilfe eines geeigneten Apparates eine chemische Lösung elektrolytisch zersetzen, trotzdem bloss ein einziger Pol der Zelle mit der Leitung oder mit der Energiequelle verbunden ist. Wir können Glühlampen, luftleere Röhren, phosphorescirende Hohlkugeln durch Anschluss an die einpolige Leitung oder durch blosse Annäherung an dieselbe zum Leuchten bringen.

„Wie unpraktisch auch diese Weise des Betriebes in manchen Fällen erscheinen mag, so scheint sie doch für die Lichterzeugung praktisch, ja sogar empfehlenswerth zu sein. Eine derartig vervollkommnete Glühlampe würde wenig Energie erfordern, und wir müssten ihr dieselbe (falls Leitungsdrähte angewendet werden) auch ohne Rückleitungsdraht übermitteln können.

Es ist zu einer Thatsache geworden, dass man einen Körper durch einfachen Contact oder durch blosses Annähern an eine Quelle wechselnder elektrischer Impulse ins Glühen oder in Phosphorescenz bringen kann, und dass wir auf diese Weise eine für praktische Beleuchtungszwecke genügende Lichtmenge erzielen können. Es ist daher zum mindesten der Mühe werth, die besten Bedingungen und Apparate für diese Beleuchtungsweise auszuforschen und die von Tesla in dieser Richtung erzielten Erfahrungen sind in vorliegendem Buche niedergelegt.



**Schirmwirkung.** „Ein anderes Beispiel von dem interessanten Verhalten der Ströme hoher Wechselzahl mag in dem folgenden Experimente gefunden werden:

„Ein kleines Flügelrad aus Aluminiumblech ist auf einer Nadel angebracht, die sich in einem Metalllager dreht, welches auf das eine Spulenende aufgeschraubt ist. Wird die Spule mit Strömen hoher Wechselzahl erregt, so werden die Luftmolecüle von ihr rhythmisch angezogen und abgestossen. Nachdem die Kraft, von welcher sie abgestossen werden, grösser ist, als jene, von welcher sie angezogen werden, so ergiebt sich als Resultat eine Abstossung, welche auf die Oberfläche des Flügelrades ausgeübt wird. Wäre das letztere ganz einfach aus Metallblech hergestellt, so würde die Abstossung an den entgegengesetzten Seiten gleich sein und keine Wirkung sichtbar werden. Wird aber eine der entgegengesetzten Seiten „beschirmt", d. h. wird das Anprallen der Molecüle an diese Seite irgendwie abgeschwächt, so bleibt dennoch auf der anderen Seite die Wirkung der Abstossung bestehen und das Flügelrad wird sich in Drehung versetzen.[1]) Die „Beschirmung" geschieht am besten durch Anbringung von leitenden Belegungen an den entgegengesetzten Seiten des Flügelrades; hat das-

[1]) „Electric and Magnetic Screening" by Sir William Thomson Lecture delivered at the Royal Institution. London, April 9, 1891. — The Electrician, April 10, 1891. The Electrical World, Vol. XVII, Nr. 19. Ferner: Gottlieb Adler: „Ueber die Veränderung elektrostatischer Kraftwirkungen durch eine leitende Wand." (Wiener Sitzungsberichte, Bd. 99, 1890, Exner, Rep., Bd. 26, Heft 8, Elektrotechnische Zeitschrift 1890, Heft 42).

selbe aber die Form einer gewöhnlichen Propellerschraube, so bringt man an einer Seite des Rades oder nahe zu selbem eine isolirte Metallplatte an. Die statische Beschirmung kann auch fortgelassen und durch ein an einer Seite des Flügelrades angebrachtes Stück isolirenden Materiales ersetzt werden.

„Wird die Inductionsspule durch Ströme hoher Wechselzahl erregt, so kommt das Flügelrad sehr leicht in Drehung. Bei Strömen von beständigem Potential, ja selbst bei Wechselströmen von sehr niedriger Frequenz, dreht sich das Rad, wegen des schwachen Luftaustausches und verminderten Anprallens der Molecüle, nicht. Bei Wechselströmen niedriger Frequenz aber ausserordentlich hohen Potentials könnte sich das Rad in Bewegung versetzen. Es ist nun sehr leicht, den Apparat so anzuordnen, dass das Potential ursprünglich zwar nicht genügend hoch ist, um das Rad in Drehung zu bringen, dass es aber in Folge der Verbindung des anderen freien Spulenendes mit einem isolirten Körper, auf eine solche Höhe gebracht werden kann, bei welcher die gewünschte Bewegung eintritt. Es ist ferner auch möglich, das Aufhören der Drehung, und zwar dadurch zu bewirken, dass man das Potential durch Anschluss eines Körpers an das Spulenende herabmindert.

Anstatt sich bei diesem Experimente eines Flügelrades zu bedienen, kann man auch den „elektrischen Radiometer" hiefür anwenden. In diesem Falle wird man wahrnehmen, dass sich die Flügel bloss unter gewöhnlichem Luftdruck oder aber in hohem Vacuum drehen; unter mässigem Druck, wenn die Luft gut



leitend ist, findet keine Drehung statt. Diese Beobachtung wurde von Tesla und Prof. Crookes zu gleicher Zeit gemacht. Tesla schreibt die Ursache dieses Phänomens der hohen Leitungsfähigkeit der Luft zu, deren Molecüle hier nicht als unabhängige Träger elektrischer Ladungen, sondern alle zusammen als ein einziger leitender Körper wirken. Findet in einem solchen Falle überhaupt eine Abstossung der Molecüle von den Flügeln aus statt, so muss sie sehr gering sein. Es wäre auch möglich, dass die Ursache dieser Erscheinung darin läge, dass der grössere Theil der Entladung vom Leitungsdraht direct in das gutleitende Gas übergeht, anstatt dass der Uebertritt von den Flügeln aus geschähe.[1])

---

[1]) Es mag bei dieser Gelegenheit der interessanten Versuche gedacht werden, welche seinerzeit von A. R. Bennet mit Radiometern in elektrostatischem Felde angestellt wurden. (Edinburgh Meeting of the Institution of Electrical Engineers. 17 Juli 1890). La Lumière Electrique, tome XXXVII, p. 637. — Siehe ferner:

Crookes: „Radiant matter." The Electrician, Sept. 20, 1879, p. 207.

Hankel: „Ueber das Crookes'sche Radiometer." Wied. Ann. Band I, 1877, p. 627.

Hittorf: „Bemerkungen über den Crookes'schen Versuch." Wied. Ann. Band XXI, p. 126.

Poggendorff: „Das Radiometer des Herrn W. Crookes." Pogg. Ann. Band CLVI, 1875, p. 488.

Beiblätter zu den Ann. der Physik u. Chemie. Ueber Radiometer: Arbeiten von Fonvielle, Bertin u. Garbe Crookes, Delsaulx, Thoré, Rood, Grimshaw, Stoney u. Moss, Stroumbo, Sir W. Grove, Rossetti, Chalis, Schuster, O. E. Meyer, Puluj, Preston. Beibl. Band I, 1877

**Impedanz.**[1]) Bei Experimenten, welche mit Wechselströmen hoher Wechselzahl angestellt wurden, machte Tesla interessante Wahrnehmungen von Impedanz. Wenn, wie in Fig. 3, eine dicke Kupferstange gebogen und durch gewöhnliche Glühlampen überbrückt wird, können die Lampen, obwohl sie kurz geschlossen sind, durch die

Fig. 3. Lampen, kurzgeschlossen durch eine dicke Kupferstange und Knoten zeigend.

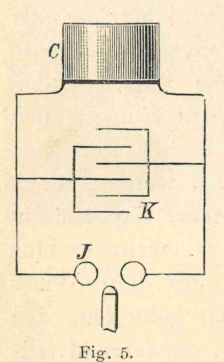
[1]) Die Section A der British Association hat im Jahre 1889 für den vom Pariser internationalen Elektrikercongress festgestellten Ausdruck „résistance apparente" (anscheinender Widerstand) den Ausdruck „impedance" angenommen, welch letzterer im Allgemeinen gesprochen, das Verhältniss der effectiven EMF zur effectiven Stromstärke ausdrücken soll. Ueber diese Bezeichnung, welche zuerst (1887) von Oliver Heaviside gebraucht wurde, hat sich seinerzeit eine längere Controverse zwischen den englischen Elektrikern Blakesley und Glazebrook entsponnen, aus welchen hervorgeht, dass die französische Definition: „La résistance apparente est le facteur par lequel il faut multiplier l'intensité efficace pour avoir la force electromotrice efficace" von der British Association insoweit beschränkt wurde, als unter dem Ausdruck „résistance" bloss Wirkungen verstreuender Natur (dissipative in their nature) verstanden werden. — The Electrician, Sept. 20, 1889, p. 486; October 4, 1889, p. 589; October 11, 1889, p. 565 u. 585; October 18, 1889, p. 612.



zwischen den Knöpfen spielende Entladung zum Leuchten gebracht werden. Wenn man eine grösser gebaute Inductionsspule in Anwendung bringt, kann man in der Stange leicht Wellenknoten hervorbringen, welche durch den Unterschied in der Helligkeit der Lampen (siehe Fig. 3) wahrnehmbar werden. Die Knoten haben keinen ausgesprochenen Charakter, sondern dieselben sind einfach Minima und Maxima der Potentiale längs der Stange, was wahrscheinlich von der Unregelmässigkeit des Lichtbogens zwischen den Condensatorknöpfen herrührt. Die Knoten können auch mittelst Geissler'scher Röhren, welche die gebogene Stange überbrücken, ausfindig gemacht werden, doch thut man in letzterem Falle gut, geringere Capacität in Anwendung zu bringen. Tesla hat es, wenn er eine Glühlampe oder Geissler'sche Röhre auf diese Weise leuchtend machen wollte, für praktisch gefunden, den Kurzschluss derselben durch ein kurzes, schweres Metallstück zu bewerkstelligen und erzielte mit dieser Anordnung merkwürdige Resultate. Bei sehr hoher Wechselzahl ist die Impedanz des Kupferblocks so gross, dass man an zwei, kaum einige Zoll voneinander entfernten Punkten desselben eine Potentialdifferenz von mehreren Hundert Volts erhalten kann. Es ist leicht, den Kohlenfaden einer Vacuumlampe in voller Leuchtkraft erglühen zu machen, wenn man die Zuleitungsdrähte derselben an den Kupferblock anlegt. Je dicker die in Fig. 3 ersichtliche Stange gewählt wird, desto bessere Erfolge werden die anzustellenden Experimente aufweisen. Wenn Lampen mit langen Kohlenfäden gewählt werden, kann man oft

wahrnehmen, dass die Fäden von Zeit zu Zeit heftig vibriren und dass diese Vibration an den Knotenpunkten am geringsten ist. Dies scheint von einer elektrostatischen Einwirkung zwischen dem Faden und dem Glaskörper der Lampe herzurühren.[1])

*Anmerkung.* Prof. Elihu Thomson hat seinerzeit interessante Versuche über die Einwirkung eines Luft-



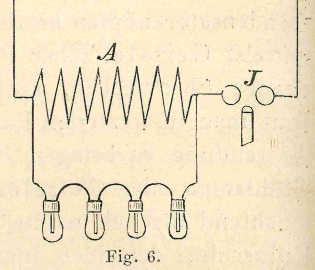




Fig. 5. Fig. 6.
Elihu Thomson's Experimente.

stromes auf Condensator-Entladungen angestellt,[2]) bei

[1]) Siehe auch Lodge: „On the impedance of conductors to Leyden jar discharges." The Electrician, Sept. 14, 1888. — „Sur l'impédance des conducteurs dans les décharges de condensateurs." La Lumière Electrique, tome XXX, p. 133, 1888. — Palaz: Bemerkungen zu vorstehender Mittheilung. La Lumière Electrique tome XXX, p. 213.

[2]) Das Princip, welches diesen Experimenten zu Grunde liegt, wurde zuerst von mir in einem amerikanischen Patente beschrieben.

Siehe amerikanisches Patent Nr. 462, 418, dated November 3, 1891. Application filed February 4, 1891. N. T.



welcher Gelegenheit er die von Tesla erwähnten Impedanzphänomene ebenfalls beobachtete.[1]) Die Anordnung eines dieser Versuche ist in Fig. 5 und 6 gezeigt. *C* ist eine Inductionsspule, in deren Secundärwicklung eine Stromspannung von 10.000 bis 20.000 Volts erreicht werden kann, wenn ihr Primärkreis durch entsprechende Wechselströme erregt wird. Die Spulenenden sind mit einem Condensator *K* verbunden. Die Entladung findet zwischen zwei Knöpfen in *J* statt, woselbst ein Luftstrom deshalb auf den Funken gerichtet wird, um Ströme von ausserordentlich grosser Wechselzahl zu erhalten. Wenn nun eine aus wenigen Windungen sehr dicken Drahtes bestehende Spule *A* (Fig. 6) in die Funkenstrecke eingeschlossen, d. h. mit dem Entlader *J* auf Spannung geschaltet wird, so sind die in der Spule auftretenden Selbstinductionswirkungen so bedeutende, dass eine im Nebenschluss zur dickdrähtigen Spule geschaltete Serie von Glühlampen zum Leuchten gebracht wird. Ohne Anwendung des Luftstromes in *J* gerathen die Lampen nicht ins Glühen.[2]) In Fig. 7 sehen wir eine Glühlampe *L*, dessen kurzgeschlossener Leitungsdraht einige wenige Windungen um die Spule *A* beschreibt. Diese letzteren genügen, um die Lampe ins Glühen zu bringen. Diese Wirkungen aber sind — sagt Thomson — nicht wahrnehmbar, wenn der Luftstrom bei *J* nicht in Thätigkeit ist.

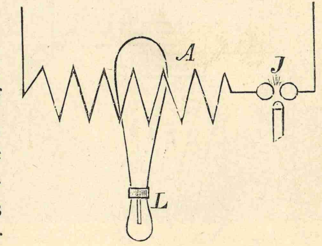



Fig. 7. Impedanz-Phänomen.

[1]) The Electrical World, Vol. XIX, No 9, p. 132.

[2]) Die Lampen kommen auch ins Glühen selbst ohne Anwendung eines Luftstromes, wenn nur die Adjustirung des ganzen Systems eine richtige ist. N. T.

In Fig. 9 sehen wir in einem anderen Thomsonschen Experimente die Glühlampe *L* durch einen dicken Kupferdraht *W* kurzgeschlossen und dennoch kommt sie ins Glühen. Dieses Experiment konnte von Thomson nur mit Wechselströmen ausserordentlicher Frequenz zuwege gebracht werden, welch letztere eben durch die bereits erwähnte Einwirkung eines Luftstromes auf den Entladungsfunken erreicht wurden. Ohne das Gebläse,

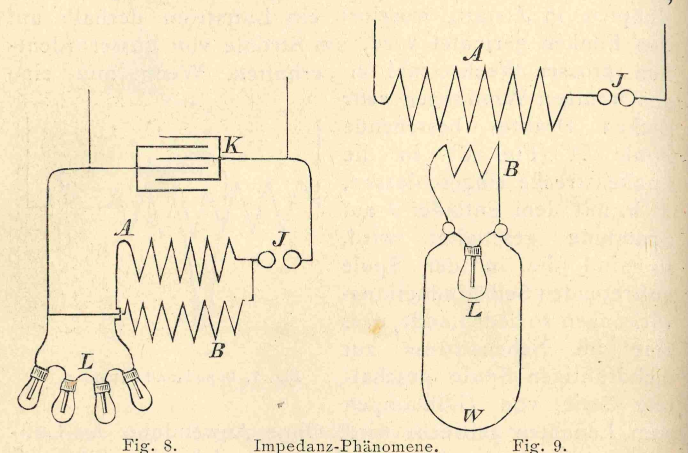



Fig. 8. Impedanz-Phänomene. Fig. 9.

meint Thomson, führe das Experiment zu keinem Resultate. [1])

[1]) Das ist natürlich ein Irrthum. Der Luftstrom oder ein anderes Unterbrechungsmittel hat nur dann einen Zweck, wenn die Verhältnisse nicht so gewählt sind, dass sich eine Oscillation beständig erhält. Ist aber die Adjustirung der Capacität, Selbstinduction und des Widerstandes eine gute, so nützt der Luftstrom oder ein anderer mechanischer Unterbrecher nichts, vielmehr ist er vom Nachtheile. N. T.



In Fig. 8 sehen wir die Spule *A*, welche mit einer Serie von Glühlampen *L* auf Spannung geschaltet ist. Die Lampen sind durch eine zweite Wickelung *B* kurz geschlossen. Sobald der Entladungsfunke und das Luftgebläse in Wirksamkeit kommen, leuchten die Lampen trotz des Kurzschlusses auf.

In einigen der vorher beschriebenen Experimenten hat es Tesla für vortheilhaft gefunden, besonders construirte Lampen mit geraden Kohlenfäden, wie in Fig. 4, anzuwenden. „Bei Anwendung einer solchen Lampe sind noch interessantere als die bis jetzt erwähnten Phänomene wahrnehmbar. Man kann die Kupferstange mit einer solchen Lampe überbrücken und die letztere zum Leuchten bringen. Etwas grössere Capacitäten, oder in anderen Worten: geringere Wechselzahl oder geringere Impedanzimpulse anwendend, kann der Faden auf einen beliebigen Glühgrad gebracht werden. Wird aber die Impedanz noch weiter erhöht, so gelangt man an einen Punkt, an welchem verhältnissmässig wenig Strom durch den Kohlenfaden, der meiste aber durch das verdünnte Gas geht. Die Annahme, dass der Strom sich trotz des grossen Widerstandsunterschiedes, welchen Kohle und Gas aufweisen, sich in beiden beinahe gleich vertheile, erscheint plausibler und bliebe so lange unanfechtbar, so lange nicht das Gas und die Kohle ein verschiedenes

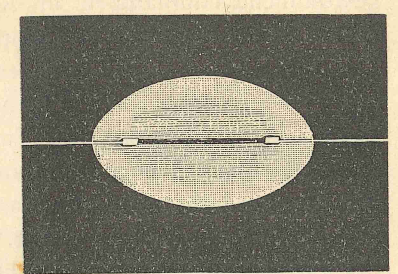


Fig. 4. Phänomen von Impedanz in einer Glühlampe.

Verhalten aufwiesen. An dem erwähnten Stadium angelangt, nimmt man aber wahr, dass sich das Innere der Lampe mit hellem Licht erfüllt, die Einführungsdrähte glühend werden und oft Funken abgeben; — der Kohlenfaden selbst bleibt aber dunkel (Fig. 4). Man kann statt des Kohlenfadens auch einen Metalldraht anwenden und das Phänomen wird dadurch nur noch interessanter. (Wenn bei diesen Experimenten gewöhnliche Glühlampen in Anwendung zu kommen haben, muss man solche Lampen wählen, in welchen die Platindrähte ziemlich weit voneinander entfernt sind. Die Wechselzahl soll in diesem Falle nicht zu hoch sein, weil sonst die Entladung an den Enden des Kohlenfadens oder am Lampenfusse, zwischen den Einführungsdrähten, stattfinden könnte.)

**Das Verhalten der Gase.**[1]) „Was dem Forscher im Verfolge der hier aufzuzählenden Experimente besonders auffällt, ist das Verhalten der Gase, wenn dieselben hohen, rapid wechselnden elektrostatischen Spannungen ausgesetzt sind. Doch kann er nicht Gewissheit darüber erlangen, ob die beobachteten Wirkungen ganz den Molecülen oder Atomen des chemisch nachweisbaren Gases zuzuschreiben seien, oder ob hier nicht ein anderes gasförmiges Medium in Mitwirkung komme: eine Art Fluidum, in welchem die Atome oder Molecüle eingetaucht sind und das den Raum erfüllt. . . . Solch

---

[1]) Dem Verfasser bekannte Literatur:

Becquerel Ed.: „Recherches sur la transmission de l'électricité au travers des gaz à températures élevées". Annales de Chimie et de Physique, tome XXXIX, 1853, p. 355.

Braun: „Ueber die unipolare Elektricitätsleitung durch Gasschichten von verschiedener Leitungsfähigkeit. Pogg. Ann. Band CLIV, 1875, p. 481.

Sir H. Davy: „Sur des Phenomènes électriques dans le vide". (Lu à la Société Royale le 20 décembre 1821.) Annales de Chimie et de Physique, tome XX, 1822, p. 168.

Edlund: „Ueber den Gang elektrischer Inductions- und Disjunctionsströme durch Gase verschiedener Dichtigkeit und zwischen Polen von verschiedener Form." Pogg. Ann. Band CXXXIX, 1870, p. 353. — „Ueber den elektrischen Widerstand der Gase." Wied. Ann. Band XV, 1882, p. 165. — „Ueber den elektrischen Widerstand des Vacuums." Selber Band, p. 514.

Electrician: „The electric discharge in rarefied gases." Hinweis auf die Arbeiten von Crookes, Dr. Gintl, Dr. Puluj u. Righi. — The Electrician, September 18, 1880, p. 213.

Elster J. und Geitel H.: „Lichtelektrische Entladungen in verdünnten Gasen." Wied. Ann. Band XLI, p. 166.

Goldstein: „Ueber elektrische Lichterscheinungen in Gasen." Wied. Ann. Band XII, 1881, p. 90. — „Ueber die Entladung der Elektricität in verdünnten Gasen." Band XII, p. 249.

Harris: „Elektrische Versuche in verdünnter Luft." Phil. Transact. f. 1834. — Pogg. Ann. Band XLI, 1837, p. 99.

Hittorf: „Ueber die Elektricitätsleitung der Gase." Pogg. Ann. Band CXXXVI, 1869, p. 1, 197. Jubelband 1874, p. 430. — Wied. Ann. Band VII, 1879, p. 553. Band XX, 1883, p. 705, Band XXI, p. 90.

Heydweiller A.: „Ueber den Durchgang der Elektricität durch Gase." Wied. Ann. Band XL, p. 464.

Homén Th.: „Ueber den elektrischen Leitungswiderstand der verdünnten Luft." Wied. Ann. XXVI. p. 55. — „Ueber die Elektricitätsleitung der Gase." Wied. Ann. Band XXVI, p. 55, XXXVIII, p. 172.

ein Medium muss existiren, und Tesla ist davon überzeugt, dass beispielsweise: „selbst bei Abwesenheit von Luft, die Oberfläche und die Umgebung eines Körpers im Raume durch einen rapiden Wechsel des Potentials dieses Körpers, erhitzt werden würde, dass aber keine solche Erhitzung der Oberfläche oder der Umgebung stattfinden könnte, wenn alle freien Atome verschwänden und bloss ein homogenes, incompressibles und elastisches Fluidum — als welches man sich den Aether vorstellt — verbliebe, weil in diesem Falle

---

Lehmann: „Ueber die Arten elektrischer Entladung in Gasen." Wied. Ann. Band XI, 1880, p. 686.

Morren: „Sur les phénomènes lumineux, dits de phosphorescence, que présentent quelquez gaz très-raréfiés pendant et après le passage de l'étincelle électrique." Annales de Chimie et de Physique, tome IV, 1865, p. 293. „Sur la conductibilité électrique des gaz sous des faibles pressions." Annales de Chimie et de Physique tome IV, 1865, p. 325

Morren: „Ueber die mit dem Namen Phosphorescenz belegten Lichterscheinungen in sehr verdünnten Gasen bei und nach dem Durchgang elektrischer Funken." — Pogg. Ann. Band CXXVI, 1863, p. 643. — „Ueber die elektrische Leitungsfähigkeit der Gase unter schwachen Drucken." Pogg. Ann. Band CXXX, 1867, p. 612.

Narr: „Ueber das Verhalten der Elektricität in verdünnten Gasen." Wied. Ann. Band V, 1878, p. 145. — „Zum Verhalten der Elektricität in verdünnten Gasen." Wied. Ann. Band VIII, 1879, p. 266. — „Ueber das Verhalten der Elektricität in Gasen, insbesonders im Vacuum." Wied. Ann. Band XI, 1880, p. 155.

De la Rive u. Sarasin: „Einige Versuche über die Wirkungen des Magnetismus auf die elektrischen, in der Verlängerung der Achse des Magneten stattfindenden Entladungen in einem verdünnten Gase." Pogg. Ann. Jubelband 1874, p. 469.



keine Zusammenstösse, keine Collisionen stattfinden könnten. In einem solchen Falle würden, was den Körper selbst anbelangt, bloss innerliche Reibungsverluste vorkommen können.

*Anmerkung.* Es ist nämlich hier die Idee ausgesprochen, dass die Luftmolecüle nicht die einzigen, im Aether freischwebenden Körperchen sind. Bestandtheile fester Körper in Form von Staub und Dämpfen mögen eine wichtige Rolle in den beobachteten Erscheinungen spielen. Die stetige

---

Schulz: „Ueber die Entladung der Elektricität durch verdünnte Luft." Pogg. Ann. Band CXXXV, 1868, p. 249.

Schuster A.: „Experiments on the passage of electricity trough gases." Paper read before the Royal Society, June 19, 1884. The Electrician, July 12, 1884, p. 212. — „Experiments on the discharge of electricity trough gases." Paper read before the British Association Meeting of Manchester, September 1887. The Electrician, Sept. 2, 1887, p. 352. — Wied. Ann. Band XXIV p. 74.

Spottiswoode W.: „Sensitiv estate of electrical discharges trough rarefied gases." The Electrician, Volume III, 1879, p. 124.

Stenger: „Beiträge zur Elektricitätsleitung der Gase." Wied. Ann. Band XXV, p. 31.

Waltenhofen A.: „Einige Beobachtungen über das elektrische Licht in höchst verdünnten Gasen." Sitzungsber. der Wiener Akademie, Band LI. Pogg. Ann. Band CXXVI, 1865. Hinweis auf die Arbeiten von Plücker, Reitlinger (Zeitschrift für Mathematik und Physik).

Warburg: „Ueber die Zerstreuung der Elektricität in Gasen." Pogg. Ann. Band CXLV, 1872, p. 578.

Wiedemann: „Ueber das Leuchten der Gase durch elektrische Entladungen." Wied. Ann. Band VI, 1879, p. 298. — „Ueber das thermische und optische Verhalten von Gasen unter dem Einflusse elektrischer Entladungen. Wied. Ann. Band X, 1880,

Entwickelung der Chemie, die Entdeckung neuer Stoffe macht es wahrscheinlich, dass sich im Raume Atome oder Molecüle befinden, welche die Wissenschaft noch nicht ergründet hat. Auch glauben noch jetzt manche Forscher, dass der Aether selbst atomischer Beschaffenheit sei. In einem solchen Falle würden natürlich die beschriebenen Wirkungen mehr oder weniger im Aether allein stattfinden. Ist jedoch der Aether ein homogenes Fluidum, wie nun fast allgemein angenommen wird, dann kann nur Strahlung durch Wellen geschehen, aber kein Erhitzen des Körpers, dessen Potential schnelle Wechsel erleidet. Um eine Wärmeentwickelung an der Oberfläche oder in der Nähe des Körpers zu vermeiden, ist es nothwendig, dass das umgebende Medium entweder unzusammendrückbar oder vollkommen elastisch sei. Nun werden aber beide dieser Eigenschaften dem Aether zugeschrieben.
N. T.

„Es ist eine Thatsache, dass die Entladung in einem Gase mit um so grösserer Leichtigkeit stattfindet, je mehr die Wechselzahl der Impulse vermehrt wird. Das Gas verhält sich in dieser Beziehung gerade in entgegengesetzter Weise wie ein metallischer Leiter. In dem letzteren kommt augenscheinlich die Impedanz ins

p. 202. — „Ueber das elektrische Leuchten der Gase." Wied. Ann. Band XVIII, 1882, p. 509. — „Ueber elektrische Entladungen in Gasen." Band XX, p. 756.

Wiedemann und Rühlmann: „Ueber den Durchgang der Elektricität durch Gase." Pogg. Ann. Band CXLV, 1872, p. 235, 364.

Wüllner: „Studien über die Entladungen des Inductionsstromes in mit verdünnten Gasen gefüllten Räumen." Pogg. Ann. Jubelband, 1874, p. 32.

Wolf M.: Disruptive Entladungen in Gasen." Wied. Ann. Band XXXVII, p. 306.



Spiel, wenn die Wechselzahl erhöht wird; das Gas aber verhält sich wie eine Spannungsreihe von Condensatoren: die Leichtigkeit, mit welcher die Entladung durchschlägt, scheint von der Wechselzahl des Potentials abzuhängen. Wenn dies wirklich der Fall ist, dann kann sich selbst in einer Vacuumröhre von grosser Länge, und auch bei einer beliebigen Stromstärke, die Selbstinduction nicht in einer bemerkenswerthen Weise äussern. Wir besitzen also, soweit wir dies jetzt ersehen können, in dem Gas einen Leiter, welcher die Fähigkeit besitzt, elektrische Impulse von beliebiger, praktisch erreichbarer Wechselzahl zu übermitteln.

**Metall als Isolator und Gas als Leiter.** „Könnte die Wechselzahl hoch genug gemacht werden, dann wäre es möglich, ein sonderbares elektrisches Vertheilungssystem einzuführen: Metallröhren, die mit Gas gefüllt sind (wobei das Metall der Isolator und das Gas der Leiter ist), welche phosphorescirende Röhren oder andere Beleuchtungsapparate speisen. Es ist gewiss durchführbar, eine Hohlkugel aus Kupfer herzustellen, in derselben das Gas zu verdünnen, einer um das Ganze herumgewundenen Wickelung Ströme von genügend hoher Wechselzahl zuzuführen und dadurch das eingeschlossene Gas ins Glühen zu bringen; wir werden aber über die Natur der hierbei ins Spiel kommenden Kräfte im Unsicheren sein.[1]) Die allgemeinen Annahmen von

[1]) Wir würden nämlich nicht wissen, ob die Induction elektrostatischen oder elektrodynamischen Kräften zuzuschreiben wäre, da wir nicht wissen könnten, ob die Kupferkugel das Gas „beschirmt". N. T.

statischer Beschirmung sind, wenn ein gasförmiges Medium vorhanden ist, nicht anzuwenden. Solche Paradoxe und augenscheinliche Unmöglichkeiten stossen uns bei jedem Schritte in diesen Forschungen auf, und hierin liegt zum grossen Theile der Reiz dieser Studien.

*Anmerkung.* Es existirt zwischen der Auffassung neuerer Forscher (Poynting, Heaviside, Hertz) über Leiter und Nichtleiter und der üblichen Anschauung ein grosser Unterschied. „In der letzteren — sagt Hertz — erscheinen die Leiter als diejenigen Körper, welche einzig die Fortführung der elektrischen Erregung vermitteln; die Nichtleiter als die Körper, welche sich dieser Fortführung entgegenstellen. Nach unserer Auffassung hingegen scheint alle Fortpflanzung der elektrischen Erregung durch die Nichtleiter zu geschehen, die Leiter setzen dieser Fortpflanzung einen für schnelle Aenderungen unüberwindlichen Widerstand entgegen. Fast könnte man also geneigt sein, der Behauptung zuzustimmen, dass Leiter und Nichtleiter nach dieser Auffassung ihre Namen vertauschen müssten. Indessen kommt ein solches Paradoxon doch nur dadurch zu Stande, dass man die Angabe dessen unterschlägt, von dessen Leitung oder Nichtleitung man redet. Unzweifelhaft sind die Metalle Nichtleiter für die elektrische Kraft, eben dadurch zwingen sie dieselbe unter gewissen Verhältnissen sich nicht zu zerstreuen, sondern zusammenzubleiben, und werden so Leiter des scheinbaren Ursprungs dieser Kräfte, der Electricität, auf welche sich die übliche Terminologie bezieht." (Ueber die Fortleitung elektrischer Wellen durch Drähte; von H. Hertz. Wied. Ann. Band XXXVII, p. 395.) Siehe auch Giese W.: „Grundzüge einer einheitlichen Theorie der Elektricität". Wied. Ann. Band XXXVII, p. 576.

Gelegentlich seiner Londoner Vorlesung hatte Tesla eine kurze, weite Röhre von hohem Vacuum



vorgezeigt, welche mit einem Bronzeanstrich versehen war, so dass man durch denselben kaum hindurch sehen konnte. Ein mit der Bronzebelegung in Verbindung stehender metallischer Haken diente zur Aufhängung der Röhre und wurde mittelst eines Drahtes an ein Spulenende angeschlossen. Trotz der gut leitenden Metallbekleidung erhellte sich die Röhre. Eine andere lange, mit Aluminiumbronze belegte Röhre, welche Tesla in der Hand hielt, erhellte sich, wenn er die andere freie Hand an ein Spulenende anlegte. Man könnte nun einwenden, dass die Belegungen nicht genügend gut leitend seien; dieselben müssten aber, wie Tesla meint, auch dann, wenn sie von grossem Leitungswiderstande wären, das Gas „beschirmen".[1]) Der in der Röhre trotz der Beschirmung statthabende Energieverbrauch wird hauptsächlich durch das Vorhandensein des Gases verursacht. Würden wir eine grosse, hohle Metallkugel nehmen und dieselbe mit einem vollständig incompressiblen[2])

[1]) Die „Beschirmung" durch die Belegung ist gewiss vollkommen, wenn der elektrische Zustand ein statischer ist, d. h. wenn das Potential constant ist; sie ist jedoch beiweitem nicht genügend, wenn die Entladung stattfindet und in Folge dessen das Potential rasche Wechsel erleidet. N. T.

[2]) Oder vollkommen elastischen. Wäre das Dielektricum vollkommen unzusammendrückbar, dann gäbe es keine Verschiebungen, daher keine Verluste; wäre es vollkommen elastisch, dann gäbe es zwar Verschiebungen, aber trotzdem keine Verluste im Dielektricum wegen der vollkommenen Elasticität. Natürlicherweise müssen hier die Begriffe: vollkommen unzusammendrückbar oder elastisch im elektrischen Sinne genommen werden. N. T.

flüssigen Dielektricum füllen, so würde im Innern der Kugel kein Verlust stattfinden und man könnte die innere Seite als vollkommen beschirmt ansehen, obwohl das Potential rapid wechselnd ist. Selbst wenn die Kugel mit Oel gefüllt wäre, würde der Verlust ungleich geringer sein als dann, wenn die Flüssigkeit durch ein Gas ersetzt ist. In letzterem Falle verursacht die Kraft Verschiebungen, d. h. Collisionen und Anstösse an die Innenseite.

**Einfluss des Gases auf die Erwärmung eines Leiters.** „Unter welchem Druck sich das Gas nun auch befinden mag, so wird es jedesmal zu einem wichtigen Factor in der Erwärmung eines Leiters, wenn die elektrische Dichtigkeit gross und die Wechselzahl sehr hoch ist. Dass bei der durch Blitzentladungen hervorgerufenen Erwärmung der Leiter, die Luft eine wichtige Rolle spielt, ist nun beinahe sicher erwiesen. Tesla erklärt die Einwirkung der Luft durch folgendes Experiment: Er nimmt eine kurze Röhre, in welcher die Luft mässig verdünnt ist und in deren Achse sich ein Platindraht befindet, der von einem Ende der Röhre zum anderen geht. Er schliesst den Draht in einen Stromkreis beständigen Potentials oder niedriger Wechselzahl ein und der Draht erwärmt sich gleichförmig in allen seinen Theilen. „Die Entstehungsursache dieser Wärme ist in dem Leitungswiderstande des Drahtes oder in Reibungsverlusten zu suchen, und das um den Draht herum befindliche Gas hat damit — so viel wir sehen können — nichts zu schaffen. Nun aber werden durch den Draht plötzliche Entladungen oder Ströme



hoher Wechselzahl gesendet. Der Draht erwärmt sich wieder, diesesmal aber hauptsächlich an den zwei Enden, am wenigsten aber im Mitteltheile. Ist die Wechselzahl genügend hoch, so kann der Draht auch in der Mitte auseinander geschnitten werden, ohne dass die Erwärmung aufhörte: sie wird eben bloss durch das verdünnte Gas verursacht. In diesem Experimente dürfte sich das Gas als ein Leiter ohne Impedanz verhalten, welcher den Strom von dem Leitungsdraht, in welchem die Impedanz ausserordentlich erhöht ist, ablenkt, so dass sich bloss die Enden des Drahtes, wegen ihres grossen Widerstandes gegen die Entladung, erwärmen.[1]) Es ist aber durchaus nicht nothwendig, dass das Gas in der Röhre gut leitend sei; es kann sich dasselbe unter ausserordentlich niederem Drucke befinden: dennoch aber werden sich die Drahtenden erwärmen, da in solchem Falle alleinig sie es wären, welche im gasförmigen Medium nicht elektrisch miteinander verbunden wären.

Derselbe Vorgang — sagt Tesla bei dieser Gelegenheit — welcher bei hoher Wechselzahl und Potentialen in einer Vacuumröhre statt hat, kann unter gewöhnlichem Druck bei Blitzentladungen stattfinden. „Wir brauchen uns nur die Thatsache vor Augen halten, welche sich im Laufe dieser Forschungen ergab, nämlich, dass

[1]) Bekanntlich sind viele Forscher der Meinung, dass in einer Vacuumröhre beinahe der ganze Verlust an den Elektroden stattfindet, und zwar wegen ihres grossen Widerstandes an der Oberfläche. Im Sinne der vorliegenden Forschungen ist die Erhitzung der Elektroden den Impacten der Luftmolecüle gegen die Oberfläche des Drahtes zuzuschreiben. N. T.

sich das Gas unter gewöhnlichem Druck zu Impulsen ausserordentlich hoher Frequenz ebenso verhält, als wäre es unter mässig niederem Druck. Tesla glaubt, dass Drähte oder andere leitende Gegenstände bei Blitzentladungen bloss deswegen verflüchtigt werden, weil Luft vorhanden ist, und dass der Leitungsdraht, wenn er in ein continuirliches Medium, wie beispielsweise Oel, in eine flüssige Isolation eingebettet wäre, wahrscheinlich vor Schaden sicher wäre, weil sich dann die Energie anderwärts verausgaben müsste. Tesla gelangt aus dem Verhalten der Gase zu plötzlichen Impulsen hohen Potentials zur Ueberzeugung, dass es keinen sichereren Weg zur Ablenkung einer Blitzentladung geben könne, als dieselbe durch ein Gasvolumen zu leiten.[1]

---

[1]) Dieses Ergebniss ist von praktischer Bedeutung in der Construction der Blitzableiter. N. T.

Lodge Oliver: „On electrical discharges." Experiments before the Society of Arts, Mann Lectures, March 10, 1888. — „Protection of buildings from lightning." Lecture, March 17, 1888. The Electrician, Volume XXI, p. 234, 273, 302.

Fleming J. A.: „Electrical Oscillations." The Electrician, Volume XXI, 1888, p. 6.

Hughes D. E.: Briefe an Prof. Lodge über die Versuche mit Blitzableitern. The Electrician, July 13, 1888.

Lodge Oliver: „On the theory of lightning Conductors." The Electrician, August 10, 1888, p. 435. — Siehe auch: „Discussion on lightning conductors." Meeting of section A of the British Association. Sept. 11, 1888. Ansichten von Preece, Abercromby, Sir William Thomson, Rowland, Forbes, Sir Douglass, Sidney Walker, Brown, Symons, Wood T., Lord Raleigh. The Electrician, Sept. 1888, p. 644 und 673.



**Das undurchschlagbare Vacuum.** „Ein undurchschlagbares Vacuum kann nur dort als vorhanden angesehen werden, wo Impulse von niedriger Wechselzahl ins Spiel kommen. Mit solch gering wechselnden Impulsen ist eine halbwegs bedeutende Energieübermittelung im hohen Vacuum unmöglich, weil die wenigen Molecüle, welche sich um die Elektrode herum befinden, abgestossen werden, wenn sie mit derselben in Contact kommen, und von derselben auf relativ lange Zeitdauer ferne gehalten werden. Es kann daher nicht genügende Arbeit stattfinden, auf dass sie dem Auge wahrnehmbar würde. Wird die Potentialdifferenz zwischen den beiden Elektroden erhöht, so wird das Dielektricum in gewöhnlicher Weise durchschlagen. Mit Impulsen von sehr hoher Wechselzahl aber muss nicht nothwendigerweise eine Durchschlagung des Dielektricums stattfinden, da durch die fortwährende Bewegung der Atome in dem ausgepumpten Gefässe beliebig viel Arbeit verausgabt werden kann, vorausgesetzt, dass die Wechselzahl hoch genug ist. Es ist leicht, selbst mit Strömen von beschränkter Wechselzahl, wie sie durch eine Maschine erreicht werden können, einen Zustand zu schaffen, bei welchem in einer engen Röhre die Entladung zwischen den beiden Elektroden (von welchen jede mit je einem Spulenende verbunden ist) nicht durchschlägt; aber es ist schwierig, einen Punkt zu erreichen, an welchem nicht um jede einzelne Elektrode herum eine leuchtende Entladung stattfände.

**Die Bedeutung des Vacuums.** „Mit den vorliegenden Experimenten eng verbunden ist die Bedeutung

des Vacuums. In industriellen Apparaten, wie z. B. in einer der jetzt üblichen Glühlampen würde ein höheres Vacuum, als das in selben gewöhnlich hergestellte, von keinem bedeutenden Vortheile sein. In diesen Lampen findet nämlich die Arbeit am Kohlenfaden statt, während das in der Lampenkugel verbliebene Gas eine nebensächliche Rolle spielt. Wenn wir aber Ströme hoher Wechselzahl und hohen Potentiales anwenden, dann wird das Gas zu einem bedeutenden Factor und die zu erlangenden Resultate werden durch den Grad des Vacuums ausserordentlich beeinflusst. So lange man mit gewöhnlichen Inductionsspulen experimentirte,[1]) war die Forschung auf diesem Gebiete eine beschränkte, weil man sie gerade dann, wenn sie am interessantesten wurde, unterbrechen musste, indem man am „undurchschlagbaren Vacuum" angelangt war. Heute aber sind wir selbst mit Zuhilfe-

[1]) Bei hinreichender Verdünnung der Luft war es früher selbst mit den stärksten Elektrisirmaschinen oder Inductorien unmöglich gewesen, eine Entladung herbeizuführen. Das absolute Vacuum wurde in Folge dessen als ein Nichtleiter für Elektricität angesehen. Eine der historisch merkwürdigsten Abhandlungen über diesen Gegenstand ist jene von Morgan: „Electrical Experiments made to ascertain the nonconducting Power of a Perfect Vacuum." Veröffentlicht vor mehr als hundert Jahren in Phil. Trans. für 1785, Band XXV, p. 272). Ein Jahrhundert später schrieben Gebr. Alvergniat: „Ueber einen Apparat zur Beweisführung, dass der elektrische Funke nicht durch ein absolutes Vacuum geht." Comptes rendues tome LXV, p. 963. Pogg. Ann. Band CXXXIII, 1868, p. 191. Edlund hatte das Unberechtigte dieser Annahme nachgewiesen und gefunden, dass das Vacuum ein guter Leiter sein müsse. Hittorf und Goldstein sind ebenfalls zu dieser Annahme gekommen. — Siehe: Edlund: Wied. Ann. Band XV, p. 414. Hittorf: Wied. Ann. Band XXI, p. 94. Homén: Wied. Ann. Band XXVI, p. 55. Goldstein: „Ueber elektrische Leitung im Vacuum." Wied. Ann. Band XXIV, p. 79. J. J. Thomson's Experimente haben ebenfalls die Leitungsfähigkeit des Vacuums erwiesen.



nahme kleiner Inductorien im Stande,[1]) Potentiale zu erreichen, wie solche früher selbst bei Zuhilfenahme der grössten Spulen nicht erhältlich waren; ja noch mehr: wir können diese Potentiale mit grosser Schnelligkeit wechseln machen. Diese beiden Vortheile ermöglichen es uns, in beliebig hohem Vacuum Entladungen zu bewerkstelligen und das Feld unserer Forschung erweitert sich hierdurch in bedeutendem Masse. Wie immer wir auch die Herstellung praktisch möglicher Beleuchtungsarten erwägen wollen, so erscheint uns doch hohes Vacuum als das meistversprechendste Auskunftsmittel. Um aber ausserordentlich hohes Vacuum zu erreichen, wird die Verbesserung der gegenwärtig üblichen Apparate zu einer Nothwendigkeit, und der höchste Grad der Vollkommenheit wird nur dann erreicht sein, wenn wir die mechanische Luftpumpe ganz beiseite geschafft und durch eine elektrische ersetzt haben werden. Man kann

[1]) Hier ist auf die Inductionsmethode mit Hilfe der disruptiven Condensatorentladung hingewiesen, welche zuerst von mir vor dem American Institute of Electrical Engineers, May 1891, gezeigt und beschrieben wurde. Siehe diesbezüglich auch ein amerikanisches Patent. N. T.

Atome oder Molecüle aus einer hohlen Glaskugel durch die Wirkung enormen Potentiales austreiben: dies wird das Princip der zukünftigen Luftpumpe sein.

Vorderhand müssen wir uns damit begnügen, das bestmöglichste Resultat mit mechanischen Mitteln zu erreichen und Tesla hat zu diesem Behufe folgende Anordnung ersonnen:[1])

Fig. 10 stellt eine Sprengel'sche **Luftpumpe** *S* vor, in welcher der gewöhnliche Abschlusshahn durch einen hohlen Abschluss *s* ersetzt wurde, welcher in den Hals des Reservoirs *R* eingepasst wurde. In diesem Abschluss befindet sich eine kleine Oeffnung *h*, durch welche das Quecksilber abfliesst. Die Fallröhre *t* ist an das Reservoir angeschmolzen und es ist die Abflussöffnung *o* dem Querschnitt der Fallröhre angepasst. Die Pumpe ist mittelst einer |_|-förmigen Röhre *t* mit einem grossen Reservoir $R_1$ verbunden. Besondere Sorgfalt muss auf die Anpassung der rauhen Oberflächen

[1]) Eine interessante Abhandlung über Luftpumpen ist von J. Swinburne im September 1890 der British Association in Leeds vorgelesen worden. Siehe auch: „Notes on high vacua." The Electrician, September 5, 1890.

Bottomley: „A mercurial air pump." The Electrician Sept. 17, 1886, p. 393.

Guglielmo G.: „Modificazioni alla pompa di Sprengel." Atti della Reale Academia dei Lincei. Vol. VI, 1890, 2, p. 153.

Prytz K.: „Intermittirende Quecksilber-Fall-Luftpumpe." Wied. Ann. Band XLII, p. 191.

Raps A.: „Selbstthätige Quecksilber-Luftpumpe." Wied. Ann. Band XLIII, p. 629. — Violle: Lehrbuch der Physik. Deutsche Ausgabe. Erster Theil, zweiter Band, p. 912.



der Stöpsel *p* und $p_1$ verwendet werden[1]) und sind beide ebenso wie die über ihnen befindlichen Queck-

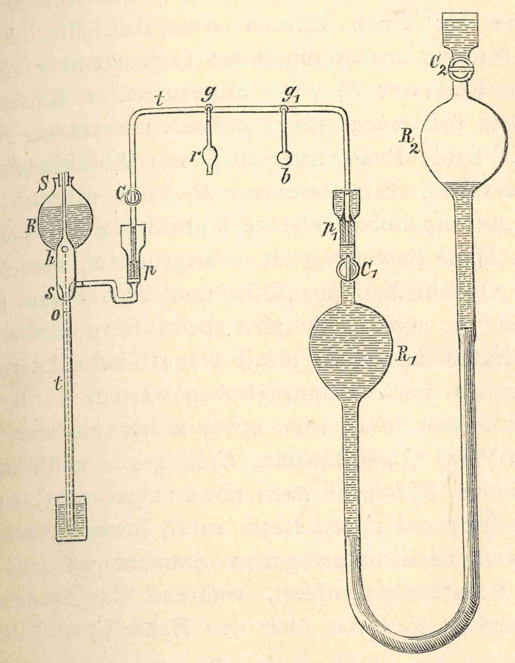



Fig. 10. Tesla's vervollkommnete Luftpumpe.

silberschalen von aussergewöhnlicher Länge, respective Höhe. Nachdem die **U**-förmige Röhre eingeführt ist,

[1]) Siehe betreffs einer neuen Anordnung dieser Stöpsel: „Some new vacuum joints and taps. By W. A. Shenstone. Paper read before the British Association in Section A." September 1890, Leeds. — The Electrician, September 26, 1890.

wird sie behufs besserer Anpassung durch Erwärmung weich gemacht. An der Röhre befinden sich ein Abschlusshahn $C$ und zwei Ausläufer $g\ g_1$, von welchen der eine für einen kleinen Aetzkalibehälter $b$, der andere für den auszupumpenden Gegenstand $r$ dient.[1])

Das Reservoir $R_1$ wird mittelst eines Kautschukschlauches mit einem etwas grösseren Reservoir $R_2$ verbunden. Beide Reservoire sind mit Abschlusshähnen $C_1\ C_2$ versehen. Das Reservoir $R_2$ kann mittelst einer Kurbel emporgehoben oder nach abwärts gehen gemacht werden. Diese Bewegung ist so angeordnet, dass, wenn $R_2$ mit Quecksilber angefüllt und der Hahn $C_2$ geschlossen ist, und sich also beim Emporheben des Reservoirs in demselben die Toricelli'sche Leere herstellt, es so hoch emporgehoben werden kann, dass das Quecksilber in $R_1$ sich etwas höher als der Hahn $C_1$ stellt. Wird $C_1$ geschlossen, $C_2$ hingegen geöffnet und das Reservoir $R_2$ wieder nach abwärts gebracht, so dass sich die Toricelli'sche Leere in $R_1$ herstellt, so kann $R_2$ so weit nach unten gehen gemacht werden, dass sich $R_1$ vollständig entleert, während das Quecksilber das Reservoir $R_2$ etwas über den Hahn $C_2$ anfüllt.

1) Tesla hat für die Austreibung der Feuchtigkeit Aetzkali am vortheilhaftesten gefunden. Dasselbe wird während des Pumpens geschmolzen und gekocht, weil bei Anwendung des Aetzkalis in Stabform die Pumpe lange Zeit hindurch arbeiten muss, ohne dass ein sehr hohes Vacuum erreicht würde. Die Erwärmung des Aetzkalis geschieht entweder durch eine Spiritusflamme oder durch einen glühenden Draht oder gar durch eine durch das Aetzkali gesendete elektrische Entladung.



Die Luftentleerung geschieht in folgender Weise: Zu Beginn sind die Abschlusshähne $C$ und $C_1$ offen und alle anderen Verbindungen geschlossen. Das Reservoir $R_2$ wird so hoch emporgehoben, dass durch das abfliessende Quecksilber $R_1$ nur ein kleiner Theil der engen **U**-förmigen Röhre gefüllt wird. Wenn die Pumpe zu arbeiten beginnt, würde natürlich das Quecksilber in der Röhre rapid steigen, es wird daher $R_2$ diesem angemessen tiefer gestellt, so dass das Quecksilber immer auf demselben Niveau bleibt. Wenn die Sprengelpumpe ihre Arbeit verrichtet hat, wird $R_2$ noch tiefer gestellt, das Quecksilber fliesst aus $R_1$ ab und füllt $R_2$, worauf der Hahn $C_2$ geschlossen wird. Die an den Wänden von $R_1$ anhaftende und die vom Quecksilber absorbirte Luft wird mitgerissen, und um das Quecksilber gänzlich von der Luft zu befreien, wird $R_2$ lange Zeit auf und ab bewegt. Während dieses Vorganges wird die wenige Luft, welche sich vielleicht unter dem Hahn $C_2$ ansammeln könnte, aus $R_2$ dadurch ausgetrieben, dass man $R_2$ genügend tief senkt, den Hahn öffnet und den letzteren wieder schliesst, bevor man das Reservoir wieder höher hebt. Wenn alle Luft aus dem Quecksilber ausgetrieben ist und sich in $R_2$ keine Luft mehr zeigt, sobald das Reservoir gesenkt wird, wird an das Aetzkali gegangen. Das Reservoir $R_2$ wird wieder emporgehoben, so dass das Quecksilber in $R_1$ über dem Hahn $C_1$ steht. Das Aetzkali wird geschmolzen und ausgekocht, die enthalten gewesene Feuchtigkeit wird theils durch die Pumpe ausgetrieben, theils wieder absorbirt. Dieser Vorgang des Erhitzens und Abkühlens wird vielmals

wiederholt und jedesmal, wenn die Feuchtigkeit ausgetrieben oder absorbirt wird, wird das Reservoir $R_2$ lange auf und nieder bewegt. In dieser Weise wird alle Feuchtigkeit aus dem Quecksilber ausgetrieben und die Reservoirs sind nun zum Gebrauche bereit. Hierauf wird wieder $R_2$ emporgehoben und die Pumpe durch lange Zeit hindurch in Wirksamkeit erhalten. Wenn das mit der Pumpe höchst erhältliche Vacuum erreicht ist, wird der Aetzkalibehälter wie gewöhnlich mit Baumwolle umwunden und mit Aether besprengt, um das Aetzkali auf einer niederen Temperatur zu erhalten; dann wird Reservoir $R_2$ gesenkt und wenn $R_1$ leer geworden ist, wird der ausgepumpte Gegenstand $r$ rasch abgeschmolzen.

**Etwas über Molecularbewegung.** „Die kinetische Theorie der Gase — sagt Prof. Crookes — lehrt uns, dass deren Molecüle sich in allen möglichen Richtungen mit grossen, aber fortwährend wechselnden Geschwindigkeiten bewegen und fast unaufhörlich in gegenseitige Collision miteinander kommen. Die Entfernung, welche jedes Molecül zurücklegt, ohne an ein anderes Molecül zu stossen, wird „freie Bahn" genannt. Die von der Gesammtanzahl der Molecüle eines Gases unter jedem Druck und bei jeder Temperatur ohne Collision zurückgelegte Entfernung wird als „durchschnittliche freie Bahn" bezeichnet. Die Molecüle üben nach jeder Richtung hin einen Druck aus und werden bloss durch Gravitation von ihrer Verstreuung im Raume abgehalten. In gewöhnlichen Gasen ist die Länge der durchschnittlichen freien Bahn im Vergleiche zu den Dimensionen



des Gefässes ausserordentlich klein, und die in diesem Zustande an ihnen beobachteten Eigenschaften bilden den gewöhnlichen gasförmigen Zustand der Materie, welcher auf constanten Collisionen beruht. Wenn wir aber in einer gegebenen Raumausdehnung die Anzahl der Molecüle in bedeutendem Maasse herabmindern, so wird die freie Bahn der Molecüle unter elektrischen Impulsen derart lang, dass in irgend einer gegebenen Zeit die Anzahl ihrer gegenseitigen Collisionen, im Vergleiche zu jener Zahl, wie oft sie die Collisionen verfehlen, unberücksichtigt gelassen werden kann.*) Es kann demnach das Durchschnittsmolecül seine Bewegungen ohne Anstoss vollführen. Wenn die durchschnittliche freie Bahn mit den Dimensionen des das Gas enthaltenden Gefässes in Vergleich gebracht werden kann, so werden die den gasförmigen Zustand bezeichnenden Merkmale zu einem Minimum; die Materie erreicht den ultra-gasförmigen oder „strahlenden" Zustand, und wir gelangen an einen

*) Crookes: „On the illumination of lines of molecular pressure and the trajectory of molecules." A paper, read before the Royal Society 1878. The Electrician, Volume II, p. 59 und 69. — „Contributions to molecular physics in high vacua." A paper, read before the Royal Society 1879. The Electrician, July 26, 1879. — „Radiant matter." A lecture delivered to the British Association for the Advancement of Science, at Sheffield, August 22, 1879. The Electrician, 1879, p. 176, 183, 207. — „Address to the mechanical Science Section of the British Association," September 1886. The Electrician Vol. XVII, 1886, p. 415, 436 u. 460.

kommen, findet ein Anprallen der Molecüle an das Kalkstück *l* und an die hervorragenden Theile des Kohlenfadens *f* statt. Der Grad der Luftleere ist so gewählt, dass durch das mit der Spule erhältliche Potential gerade eine Phosphorescenz des Glases hervorgerufen werden kann, welche jedoch sofort verschwindet, sobald das Vacuum etwas herabgemindert wird. Der Kalk enthält Feuchtigkeit, und sobald die Erwärmung des Kohlenfadens und Kalkstückes stattfindet, wird Feuchtigkeit abgegeben und die Phosphorescenz dauert bloss einige Augenblicke. Wenn das Kalkstück genügend erwärmt ist, hat es genug Feuchtigkeit abgegeben, um das Vacuum in der Glaskugel herabzumindern. Nachdem sich das Anprallen der Molecüle fortsetzt, erwärmt sich ein Partikelchen des Kalkstückes mehr als die anderen, und endlich geht die ganze Entladung durch diesen sich intensiv erhitzenden Punkt und ein weisser Strom von Kalktheilchen bricht aus demselben hervor. Dieser Strom besteht aus „strahlender" Materie, trotzdem das Vacuum niedrig ist. Die Theilchen bewegen sich darum in geraden Linien, weil die ihnen verliehene Geschwindigkeit eine grosse ist. Diese letztere resultirt aus drei Ursachen, nämlich: aus der grossen elektrischen Dichtigkeit, aus der hohen Temperatur des erwähnten

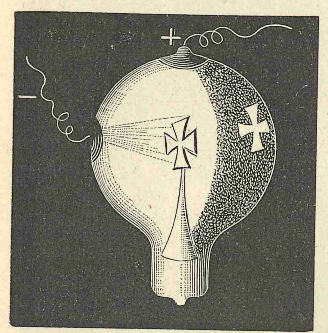


Fig. 12. Crookes' Experiment mit schattenwerfender Phosphorescenz.



Punktes und aus dem Umstande, dass die Kalktheilchen leicht abgelöst und abgestossen werden, viel leichter als die Kohlenpartikel. Bei einer Wechselzahl, wie wir sie jetzt hervorzubringen im Stande sind, werden die Theilchen leicht abgelöst und auf bedeutende Entfernungen fortgeschleudert; bei einer genügend erhöhten Wechselzahl aber würde dergleichen nicht geschehen: es würde sich bloss eine Spannungsstrahlung oder eine Vibration in der Glaskugel fortpflanzen.

---

**Das Licht der Zukunft.** „Zu was immer für Resultaten die hier vorliegenden Forschungen und Experimente auch führen mögen — sagt Tesla — so liegt doch das Hauptinteresse an ihnen in den Möglichkeiten, welche sie für die Herstellung einer praktischen Beleuchtungsart besitzen. In keinem Zweige der elektrischen Industrie ist ein Fortschritt mehr zu wünschen, als in jener der Lichterzeugung. Jeder Forscher, wenn er die angewendeten rohen Methoden, die bei der besten Lichterzeugungsart vorkommenden grossen Verluste betrachtet, muss sich fragen: Was mag wohl das Licht der Zukunft sein? Wird es, wie in den jetzigen Lampen, durch einen glühenden festen Körper, durch ein glühendes Gas, durch einen phosphorescirenden Körper oder durch irgend eine Art „Brenner" von hohem Nutzeffecte hervorgebracht werden?

„Es ist wenig Aussicht vorhanden, einen Gasbrenner zu vervollkommnen: nicht deswegen, weil sich der menschliche Erfindungsgeist durch Jahrhunderte mit diesem Problem beschäftigte, ohne einen energischen

Schritt nach vorwärts gemacht zu haben, sondern weil in einem Gasbrenner die schnelleren Schwingungen nie erreicht werden können, ohne dass nicht vorher alle niederen durchzumachen wären. Solch ein Vorgang kann ohne Erneuerung nicht beständig erhalten werden und die Erneuerung ist ein wiederholter Uebergang von niederen zu hohen Schwingungen. Es kann bloss einen Weg geben, einen „Brenner" zu vervollkommnen, und zwar: indem man einen höheren Glühgrad zu erreichen versucht. Ein höherer Glühgrad kommt schnelleren Schwingungen gleich, dies bedeutet mehr Lichtausgabe von demselben Materiale und das bedeutet auch erhöhten Nutzeffect. Es sind in dieser Richtung mehrere Verbesserungen gemacht worden, aber der Fortschritt ist durch vielfache Umstände begrenzt. Wir müssen daher vom „Brenner" absehen und es bleiben die oben zuerst genannten drei Arten der Lichterzeugung, welche auf elektrischen Wirkungen beruhen.

Nehmen wir an, das Licht der Zukunft bestünde aus einem ins Glühen gebrachten festen Körper. Sollte es dann nicht besser sein, als Leuchtkörper anstatt eines gebrechlichen Kohlenfadens ein Kügelchen anzuwenden? Eine Kugel muss aus verschiedenen Gründen besseren Nutzeffect als ein Faden haben. Aber zum Betriebe einer solchen Lampe benöthigen wir ein hohes Potential, und um dasselbe auf ökonomische Weise hervorzubringen, müssen wir hohe Wechselzahl in Anwendung bringen.

„Durch derlei Betrachtungen werden wir von glühenden Leuchtkörpern abgelenkt und auf die Lichterzeugung mittelst glühenden Gases oder mittelst



Phosphorescenz verwiesen. Diese aber erfordern Ströme hoher Wechselzahl und hohen Potentials, welch letztere von manchem Vortheile sind, nachdem sie hohen Nutzeffect haben, mit nur einem einzigen Leitungsdrahte übertragen werden können, während die Lampen gar keiner Zuleitung bedürfen, u. s. w.

*Anmerkung.* Wir mögen hier einer interessanten Ausführung Prof. Nichol's gedenken, welche derselbe über „das Licht der Zukunft" gethan hat. Er wies auf den geringen Nutzeffect der gewöhnlichen Glüh- und Bogenlampen hin und betonte die Nothwendigkeit, bessere Wirkungen durch Anwendung hoher Temperaturen zu erzielen. Unter allen lichtgebenden Körpern wurde bloss Kohle einer genauen Erforschung unterzogen. Wir haben aber andere Substanzen, z. B. metallische Oxyde, welche auf einen gewissen Grad erhitzt, Licht ausstrahlen; wir haben Metalle, wie z. B. Magnesium, deren Licht dem Sonnenlicht viel näher kommt, als das beste Bogenlicht.[1]) Lichteffecte aber, welche durch Wärme hervorgerufen werden, bieten uns nur eine theilweise Lösung des Problems: eine Beleuchtungsart von grösstem Nutzeffect zu schaffen. Das Glühendmachen eines Körpers durch dessen Erhitzung ist ein zu kostspieliges Auskunftsmittel. Ein besseres Mittel mögen wir in Funkenentladungen in Vacuumröhren suchen, doch sei deren Lichtwirkung eine so geringe, dass an ihre praktische Verwerthung nicht gedacht werden könne. Prof. Langley und Very haben in dem Philosophical Magazine (September 1890) unter dem Titel „The Cheapest Form of Light" eine Arbeit veröffentlicht, in welcher auf Grund verschiedener Messungen nachgewiesen wurde, dass die von einem Leuchtkäfer ausgehende strahlende Energie in ihrer Gänze zur Hervor-

[1]) Siehe: Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences. Vol. XV, p. 240.

bringung einer Lichtwirkung ausgenutzt wird, und dass die unsichtbaren Wärmestrahlen, welche einen so grossen und unnutzbaren Theil der von allen Lichtquellen ausgehenden Strahlung bilden, bei dieser Lichtform ganz unbedeutend sind. — Es war diese Ausführung, welche Tesla zum erstenmale Gelegenheit gab, sich über das „Licht der Zukunft" öffentlich auszusprechen,[1]) und die Richtung anzudeuten, in welcher er auf die Lösung des vorliegenden Problems hinarbeitete.[2]) Eine sehr interessante Ausführung, welche die Forscher zum Studium dieser Frage mit angeregt haben kann, ist Prof. W. Anthony's „A Review of Modern Electrical Theories".[3])

**Umwandlung elektromagnetischer Wellen in Lichtwellen.** Nachdem wir wissen, dass elektromagnetische Wellen ebenso Aetherwellen sind, wie die Lichtwellen, dass ferner das Licht eine elektrische Störung oder Vibration ist, so drängt sich uns sofort die Frage auf: Warum sollten wir das „Licht der Zukunft", ohne Zuhilfenahme der Wärme, nicht dadurch erreichen

[1]) Lecture before the New York Electric Club, Nov. 20, 1890. By Prof. Edward L. Nichols. Einschlägige Literatur: John W. Howell: Ueber die Lebensdauer der Glühlampen. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Vol. V, p. 237. The Electrical World, April 14, 1888, p. 190. — W. H. Pierce: Ueber den Nutzeffect der Glühlampen. Transactions of the Amer. Inst. of Electr. Eng., Vol. VI, p. 293. The Electrical World, June 8, 1889. — Hatsune Nakono; Louis B. Marks: Ueber den Nutzeffect der Bogenlampe. American Institute of Electrical Engineers, Vol. VI, p. 308, Vol. VII, p. 175. The Electrical World, May 31, 1890, June 1, 1889.

[2]) Siehe: Discussion of Prof. Nichol's Paper on „The Artificial Light of the Future." The Electrical World, Vol. XVI, Nr. 13, p. 409.

[3]) Vorlesung, gehalten am 21. Januar 1890 im American Institute of Electrical Engineers. — The Electrical World, Vol. XV, Nr. 5.



können, dass wir elektromagnetische Wellen in Lichtwellen verwandeln? Es ist ja doch erwiesen, dass elektrische Wellen den Raum mit derselben Geschwindigkeit durchmessen wie das Licht, dass sie gleich letzterem und nach denselben Gesetzen von Körpern absorbirt und gebrochen werden. Der einzige Unterschied zwischen beiden besteht ja doch nur in der Wellenlänge oder in der Schwingungsperiode.

Aber zu gleicher Zeit drängen sich uns mit der vorstehenden Frage auch die Schwierigkeiten auf, welche der Lösung des Problems auf diesem Wege entgegenstehen. Gesetzt den Fall, es wäre richtig, dass man nur kurze elektrische Wellen zu erzeugen hätte, um mit denselben Licht hervorbringen zu können,[1]) so haben wir bis jetzt doch kein Mittel in Aussicht, diese Umwandlung praktisch zu Stande zu bringen.

Man kann elektrische Schwingungen von ein Tausendmillionstel Secunde und somit Wellenlängen von 30 Centimeter hervorbringen. Die Wellenlänge der sichtbaren Lichtstrahlen beträgt im Mittel 0·00005 Centimeter, sie ist also 600.000mal kleiner als jene der vorhin erwähnten elektrischen Welle. Mit welchem Apparate sollen wir also die Umwandlung der elektrischen Welle vollziehen? Vielleicht mit einer Maschine?

[1]) „Diese Ansicht beruht auf einer sehr oberflächlichen Auffassung beider Wellenbewegungen; die elektrische Welle ist ihrem Wesen nach total verschieden von der Lichtwelle," sagt G. Schmitz. Siehe: „Lichterzeugung durch unmittelbare Umwandlung der elektrischen Schwingungen in Lichtschwingungen." Elektrotechnische Zeitschrift 1892, Heft 19 und 20.

Die dem Auge sichtbaren Lichtstrahlen müssen mit einer Geschwindigkeit von 4000 bis 7000 Billionen in der Secunde aufeinander folgen, während die gewöhnlichen Wechselstrommaschinen nur einige hundert Wellen pro Secunde aussenden.

Als nächstes Aushilfsmittel haben wir die elektrische Resonanz, welche Hertz die Mittel gegeben hat, die Existenz elektromagnetischer Wellen nachzuweisen und deren Länge zu messen.[1]) Wir können mit den Entladungen einer Leydener Flasche ausserordentlich kurze elektrische Wellen erzielen.[2]) Aber die elektromagnetischen Schwingungen, welche durch Condensatorentladungen hervorgerufen werden, sterben rapid aus,[1]) und man muss etwas suchen, wodurch diese Schwingungen continuirlich gemacht werden könnten. Wenn man die letzteren mit den Tonwellen vergleicht, so kämen die Entladungen einer Leydener Flasche jenem schnell vergehenden Tone gleich, welcher durch das plötzliche Entkorken einer Flasche hervorgerufen wird. Es gilt nun, eine continuirliche elektromagnetische Schwingung zu erhalten, welche dem Ton gliche, der z. B. durch das Blasen über einen Flaschenhals erzielt wird. In anderen Worten: eine Art elektrische Pfeife oder Orgelpfeife. Von den zur Erreichung dieses Zweckes vorgeschlagenen Verfahren mag Folgendes, von Prof. A. Fitzgerald[2]) erwähnt werden: „Man könnte mit

[1]) „In einem Hertz'schen Resonator beträgt die Zeit zwischen jeder Schwingung einer elektrischen Welle den dreissigmillionsten Theil einer Secunde. Es will das heissen, dass, wenn die Schwingungen eine Secunde andauerten, in diesem Zeitraum dreissig Millionen solcher stattgefunden haben müssten. Um uns von dieser ungeheueren Geschwindigkeit eine Vorstellung zu machen, mag angeführt werden, dass eine Uhr, welche jede Secunde einmal schlägt, 347 Tage gehen müsste, bevor ihr Pendel die Anzahl jener Schwingungen gemacht hätte, welche hier in einer Secunde stattfänden. In Wirklichkeit treten in Folge der rapiden Energieausstrahlung bloss ein Dutzend (oder ungefähr so viel) dieser Schwingungen auf, von welchen jede einzelne geringer ist wie die vorhergehende, gleich den Vibrationen einer Instrumentensaite. (Fred. Trouton.)

[2]) Bei Versuchen, welche Lord Raleigh am 6. Februar 1891 vor der Royal Institution zu London anstellte, zeigte es sich, dass die Dauer des Hauptheiles des Entladungsfunkens einer Leydener Flasche geringer als $^1/_{25000000}$ Secunde war. Um sich eine Vorstellung von dieser Zeitdauer zu machen, mag man bedenken, dass dieselbe etwa derselbe Bruchtheil von einer Secunde ist, wie eine Secunde vom ganzen Jahre, da ein Jahr, ungefähr gerechnet, 25,000 000 Secunden hat.



[1]) „Ueber die Dämpfung schneller elektrischer Schwingungen." Von Bjerknes aus Christiania. Wied. Ann. Band XLIV. p. 74.

[2]) „On the Driving of Electromagnetic Vibration by Electromagnetic and Electrostatic Engines" by Prof. G. A. Fitzgerald. Sitzung der Physical Society vom 22. Januar 1892. — Siehe ferner: „Electromagnetic Radiation" by Prof. Arthur L. Kimball. The Electrical World, Vol. XVI, Nr. 19, p. 332. — „Electromagnetic Radiation" by Prof. G. F. Fitzgerald. Lecture delivered at the Royal Institution, March 21, 1890. — The Electrician, March 28, 1890, p. 519. — Prof. Oliver Lodge: „Presidential Adress to the Liverpool Physical Society." December 16, 1889. — The Electrician, April 11, 1890, p. 580. — „On modern views with respect to the nature of electric currents." By Prof. H. A. Rowland. A lecture given at the College of the City of New York, May 22, 1889, before the American Institute of Electrical Engineers. — The Electrician, June 21, 1889. — „The Modern Theory of Light" by Prof. Oliver Lodge. Lecture to the Ashmolean Society in the University of Oxford, June 3, 1889. — The Electrician, Sept. 6, 1889, p. 447.

einer Dynamomaschine ohne Eisen, wenn diese gross genug, ihr Anker sehr lang und ihre Umdrehungsgeschwindigkeit eine bedeutende wäre, eine ungefähr eine Million betragende Wechselzahl pro Secunde hervorbringen. Doch hat Prof. S. P. Thompson gefunden, dass eine solche eisenlose Maschine eine Umdrehungsgeschwindigkeit haben müsste, welche mit den gegenwärtigen mechanischen Mitteln nicht erreicht werden könnte. Prof. Perry hat zwar eine derartige Maschine zu construiren versucht, dieselbe hat jedoch keine Resultate ergeben.

„Andere Methoden, elektromagnetische Vibrationen hervorzurufen, weisen auf Seriendynamos und Alternatoren hin. Die Polarität einer Seriedynamo, welche einen Magnetomotor antreibt, müsste sich unter gewissen Umständen periodisch umkehren und hierdurch einen oscillirenden Strom hervorrufen. Aehnliche Effecte können durch Seriendynamos, welche Accumulatoren*)

*) Siehe auch: „On a Method of producing electromagnetic disturbances of comparatively short wave." By Prof. Fitzgerald. Paper read before the British Association, Sept. 1883. „This is by utilising the alternating currents produced when an accumulator is discharged trough a small resistance. It would be possible to produce waves of as little as 10 metres wave length or even less."
Eine Polarisationszelle, welche in vieler Beziehung ähnlich wirkt wie ein Condensator von grosser Capacität, wurde zur Erzielung von Schwingungen schon von Kohlrausch angewendet. Siehe Versuch von Kohlrausch, Pogg. Ann. Band 148, p. 143 bis 154, 1873. Jubelband, p. 290 bis 301, 1874.



oder Condensatoren laden, hervorgebracht werden. Eine Methode, in welcher mittelst einer Seriedynamo elektrische Oscillationen intensiver gemacht werden sollen, ist in einer Patentschrift von Sir. W. Siemens (betreffend Kabeltelegraphie) zu finden. Aehnliches wurde von Prof. Perry vorgeschlagen.

„Prof. S. Thompson denkt sich, dass die Hervorbringung continuirlicher elektromagnetischer Wellen dadurch erreicht werden könnte, dass man gelegentliche Impulse in beiläufig derselben Weise gäbe, in welcher eine Stimmgabel durch das Anschlagen des Hammers eines Läutewerkes in Schwingung erhalten würde.

Doch scheinen elektrostatische Maschinen am ehesten zur Erreichung des in Rede stehenden Zweckes berufen zu sein. Gleich den Seriendynamos hängt ihre Polarität von der Anfangsladung ab und kann leicht umgekehrt werden. Bis jetzt waren solche Maschinen wegen ihrer Funkengebung ohne Nutzeffect, aber Maxwell hat gezeigt, wie diesem Uebelstande abzuhelfen sei. Fitzgerald folgert aus dem Umstande, dass elektrostatische Multiplicatoren*) durch Wechselströme getrieben werden

*) Toepler wendet schon lange die Influenzmaschinen statt der Ruhmkorffspule an, um Oscillationen von sehr kurzer Schwingungsdauer hervorzurufen. Gewöhnliche Influenzmaschinen eignen sich zu diesem Zwecke, wenn man die Schwingungen der Primärleiter mit Condensatorfunken auslöst. Die vielplattigen Influenzmaschinen mit ausgedehnten Spitzenkämmen liefern unmittelbar oscillatorische Funkenströme. Siehe: „Ueber die Erregung und Beobachtung sehr rascher elektrischer Schwingungen." Wied. Ann. Band XLVI, p. 464 und 642.

können, dass Multiplicatoren ihrerseits auch Wechselströme hervorrufen können. Der genannte Professor hat einen solchen elektrostatischen Multiplicator angegeben, in welchem die Collectoren an die Enden eines „vibrirenden Stromkreises" angeschlossen und demzufolge bald positiv, bald negativ werden würden. Inductoren und Bürsten sind so angeordnet, dass ein zwischen ihnen rotirender isolirter Cylinder bald positive, bald negative Ladungen auf seiner Oberfläche erhält. Diese Ladungen werden durch einen geeigneten Apparat so abgenommen, dass die Vibration eine beständige bleibt.

T. A. Garrett[1]) schlägt Folgendes vor: „Man denke sich in einem permanenten Magnetfelde eine inductionslose, von einem continuirlichen Strom durchflossene Wismuthdrahtspirale, welche von einem Kupferdrahtsolenoid umgeben wird, in welchem der zu erhaltende oscillatorische Strom fortgeleitet wird.[2]) Wenn der oscillirende Strom das Solenoid in einer Richtung durchgeht, nimmt das Magnetfeld an Stärke zu; der anscheinende Widerstand des Wismuthdrahtes nimmt zu und folglich nimmt auch die Potentialdifferenz an den Enden desselben zu. Wenn der oscillatorische Strom das Solenoid in anderer Richtung durchgeht, nimmt die Potentialdifferenz zwischen den Enden des Wismuthdrahtes ab, weil die Stärke des magnetischen Feldes abnimmt. Man kann entweder diese Zu- und Abnahme der Potentialdifferenz oder vielleicht den Wechsel der Stromstärke im Wismuthdraht mittelst elektrostatischer oder elektromagnetischer Induction dazu verwenden, den Oscillationen in geeigneter Zeit nachhelfende Impulse zu geben. Eine solche Anordnung hätte mannigfache Vortheile. Es gäbe bei derselben keine Funken, durch welche Energie in Wärmeform verloren geht, und welche die Thätigkeit des Apparates durch Veränderung im Widerstand beeinflussen. Es gäbe auch keinen rotirenden Theil, dessen Umdrehungszahl constant erhalten werden müsste. Weder der continuirliche Strom noch das permanente Magnetfeld müssten constant bleiben.

1) The Electrician, January 29, 1892.

2) Die Veränderungen des Widerstandes in einem Wismuthdraht, wenn derselbe sich in einem Magnetfelde befindet, wurden zur Messung der Kraftlinien in demselben nutzbar gemacht. Ein derartiges Instrument wurde von Lenard angegeben. Siehe ferner Wiedemann's Annalen, Vol. XXXXII.



**Verwerthung von elektromagnetischen Effecten.**

„Viele Erfinder — sagt Tesla — haben sich mit der Hervorbringung von elektromagnetischen Wellen befasst und haben ihre Aufmerksamkeit vielleicht in zu grossem Maasse dem Studium elektromagnetischer Wirkungen zugewendet, während sie das Studium der elektrostatischen Phänomene vernachlässigten. Beinahe jeder Forscher bediente sich hierbei der gewöhnlichen Apparate, wie sie immer in früheren Experimenten angewendet wurden. In diesen Apparaten sind die elektrostatischen Effecte ausserordentlich gering, während die elektromagnetischen Inductionseffete bedeutend sind.

„So wird beispielsweise in den Hertz'schen Versuchen eine Hochspannungs-Inductionsspule durch einen Lichtbogen kurzgeschlossen, dessen Widerstand sehr

gering ist.[1]) Je grösser die Capacität der Spulenenden, desto geringer ist der Widerstand des Bogens und die zwischen den Enden der Spule herrschende Potentialdifferenz nimmt bedeutend ab. Andererseits können, wenn zwischen den Spulenenden keine Entladung stattfindet, die statischen Effecte wohl qualitativ bedeutend sein, nicht aber quantitativ, da ihr Auftreten und ihre Abnahme plötzlich geschieht, und auch, weil die Wechselzahl eine geringe ist.[2]) In keinem Falle

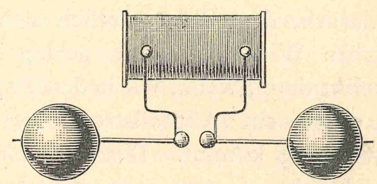
[1]) Ein Hertz'scher Erreger (Fig. 13) besteht im Wesentlichen aus einem geradlinigen Leiter, der in der Mitte durchschnitten ist und an dessen äusseren Enden zwei Kugeln oder Platten von grosser Capacität angeschlossen sind. Um eine augenblickliche Ladung des Erregers ausführen zu können, lässt man in der Mitte eine Unterbrechung und begrenzt die bezüglichen Enden durch kleine Kugelflächen, von denen jede in permanente Verbindung mit je einem Pol einer Inductionsspule gebracht wird. In dem Augenblicke, wo die Induction in der Secundärrolle der Inductionsspule stattfindet, werden die beiden Hälften des Erregers, welche die äusseren Enden des secundären Leiters bilden, auf verschiedene Potentiale gebracht und in demselben Augenblicke springt ein starker Funken zwischen den beiden Kugelflächen über. Derselbe stellt während einer sehr kurzen Zeit zwischen den beiden Kugelflächen eine Verbindung von schwachem Widerstande her, durch welche der geradlinige Leiter sich in sich selbst in ganz unabhängiger Weise entladet, ungefähr so, als wenn er mit der Inductionsspule gar nicht in Verbindung stünde.

[2]) Hier ist auf die gewöhnliche Inductionsspule hingewiesen, welche mittelst eines Stromunterbrechers (Nef'schen Hammers) betrieben wird. Obwohl mit einer solchen Spule hohe Potentialdifferenzen erreichbar sind, ist jedoch die Spule wegen des sich bildenden Lichtbogens an dem Unterbrecher und wegen des sehr geringen Nutzeffectes nicht fähig, bedeutende Arbeit zu verrichten. N. T.



können mit den gewöhnlichen Apparaten mächtige elektrostatische Effecte hervorgebracht werden.

Aehnliche Verhältnisse existiren — sagt Tesla weiter — wenn, wie dies in manchen interessanten Experimenten Dr. Lodge's geschieht, Leydener Flaschen in kurzen Unterbrechungen entladen werden.[1]) Es wurde die Meinung ausgesprochen, dass in dergleichen Fällen viel Energie im Raume ausgestrahlt wird. Bei den Lichterscheinungen, welche in den Tesla'schen Experimenten hervorgebracht werden, soll, wie vom Genannten behauptet wird, ein solcher Verlust nicht stattfinden. „In den Entladungen der Leydener Flasche wird der grösste Theil der Energie im Lichtbogen, in dem leitenden und isolirenden Materiale der Flasche in Wärme umgesetzt; etwas Energie wird durch Elektrisirung der Luft abgegeben — durch directe Ausstrahlung aber geht nur wenig verloren.


Fig. 13. Der Hertz'sche Erreger.

„Wenn man bei Anwendung von Strömen, deren Wechselzahl beispielsweise 20.000 pro Secunde beträgt, die Enden einer Hochspannungs-Inductionsspule mit einer Leydener Flasche verbindet, d. h. dieselbe ladet, so geht in Wirklichkeit alle Energie durch das Dielektricum der Flasche, welches sich erwärmt, und es sind dann die an der

[1]) Siehe Prof. Lodge's: „Modern Views of Electricity".

Flasche äusserlich wahrnehmbaren elektrostatischen Effecte gering. Nun kann man aber den äusseren Kreis einer Leydener Flasche: d. h. den Entladungsfunken mit sammt den Entladungskugeln als einen Stromkreis betrachten, in welchem Ströme von hoher Wechselzahl und ziemlich hoher Potentialdifferenz entstehen, und welcher Stromkreis durch die Stanniolbelegungen und das zwischen denselben befindliche Dielektricum geschlossen wird. Aus einer solchen Annahme wird es erklärlich, dass die äusserlich sich zeigenden elektrostatischen Wirkungen sehr gering sein müssen, und zwar selbst dann, wenn, wie in den Experimenten von Professor Lodge ein Abprallstromkreis (recoil-circuit) in Anwendung kommt. Diese Verhältnisse machen es ersichtlich, warum man mit den bisher gebräuchlichen Apparaten mächtige elektrostatische Effecte nicht hervorbringen konnte, und dass alles, was in dieser Richtung an Erfahrung gewonnen wurde, bloss der experimentalen Geschicklichkeit einzelner Forscher zuzuschreiben ist.[1])

**Elektrostatische Effecte.** „Mächtige elektrostatische Effecte sind aber — sagt Tesla weiter — das *sine qua non*, um auf dem von der Theorie angegebenen Wege Lichterscheinungen hervorbringen zu können. Elektromagnetische Wirkungen sind schon deshalb ungeeignet, weil man, behufs Erzielung der gewünschten Resultate Stromimpulse durch einen Leiter senden müsste, welcher lange vorher aufhören würde, dieselben zu übermitteln, bevor die gewünschte Wechselzahl erreicht wäre. Elektromagnetische Wellen, d. h. viel längere als Lichtwellen, wie sie durch plötzliche Condensatorentladungen erzeugbar sind, können anscheinbar nicht angewendet werden, ausser wir begnügten uns (wie in den gegenwärtigen Methoden, welche verschwenderisch sind) mit deren Wirkung auf Leiter (Drähte). Wir können durch elektromagnetische Wellen die statischen molecularen oder atomischen Ladungen eines Gases nicht verändern, sie nicht vibrirend und lichtgebend machen. Lange Transversalwellen können, wie es scheint, ähnliche Effecte nicht hervorbringen, nachdem sehr geringe elektromagnetische Störungen sich leicht durch Meilenlängen Luft fortpflanzen können. Solche dunkle Wellen (ausser sie wären genau so lang wie Lichtwellen), können in einer Geissler'schen Röhre keine Lichtstrahlung hervorbringen; jener Lichteffect aber, welcher durch Induction in einer

[1]) Poggendorff hat sich schon frühzeitig mit den Phänomen befasst, welche auftreten, wenn die Ströme des Secundärkreises einer Inductionsspule zur Ladung einer Leydener Flasche benutzt werden. Er theilte im Jahre 1854 der Berliner Akademie der Wissenschaften seine Wahrnehmung mit, dass, wenn die beiden Spulenenden des Secundärkreises mit den beiden Belegungen einer Leydener Flasche verbunden sind, und dass, wenn weiters von denselben Spulenenden zwei Drähte ausgehen, welche nahe zueinander gebracht werden, man glänzende intermittirende Funken erzielen könne, deren Aussehen von jenem der dünnen, blauen, continuirlichen Funken einer gewöhnlichen secundären Entladung gründlich verschieden sei. Dieselben Wahrnehmungen wurden von Sir W. Grove gemacht und von ihm im Philosophical Magazine vom Januar 1855 beschrieben.

Röhre ohne Elektroden hervorgebracht werden kann, ist elektrostatischer Natur.

„Um solche Lichterscheinungen hervorzurufen, sind rein elektrostatische Kräfte nothwendig: nur diese, welche nun auch ihre Wechselzahl sei, können die molecularen Ladungen verändern und Licht hervorbringen. Nachdem Stromimpulse von genügend hoher Wechselzahl nicht durch einen Leiter von messbaren Dimensionen gehen können, müssen wir uns eines Gases als Uebermittler bedienen, und dann wird die Hervorbringung mächtiger elektrostatischer Effecte zu einer gebietenden Nothwendigkeit.

**Lichterzeugung durch elektrostatische Effecte.** „Elektrostatische Effecte sind in mancher Weise für die Hervorbringung von Licht zu verwenden. Man kann beispielsweise einen aus feuerbeständigem Material hergestellten Leuchtkörper in eine geschlossene Hohlkugel einführen, in der die Luft mehr oder minder verdünnt wurde. Der Leuchtkörper wird mit einer Stromquelle von hohem, rapid wechselndem Potential verbunden, und es werden hierdurch die Molecüle des Gases veranlasst, vielemale in einer Secunde, mit enormer Geschwindigkeit an den Körper anzuprallen und ihn hierdurch glühend zu machen. Man kann einen Körper in einen Raum von hohem (undurchschlagbarem) Vacuum bringen, und vermittelst Anwendung hoher Wechselzahl und hohen Potentials von ihm genügende Energie auf benachbarte Körper übertragen, um die letzteren im Glühen zu erhalten. Wir können mittelst rapid wechselnden hohen Potentialen Störungen in dem von den Gasmolecülen mitgeführten



Aether oder in ihren statischen Ladungen hervorbringen, dieselben vibrirend und lichtgebend machen.

**Hohe Wechselzahl oder hohes Potential.** „Nachdem die Mächtigkeit der elektrostatischen Wirkungen von der Wechselzahl und dem Potential abhängt, ist es wünschenswerth, beide so weit zu erhöhen, als dies praktischerweise möglich ist. Man kann auch dann annehmbare Resultate erhalten, wenn einer dieser beiden Factoren kleiner ist — vorausgesetzt, dass der andere genügend gross sei: aber in beiden Richtungen sind uns Grenzen gezogen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass man nicht unter eine gewisse Wechselzahl heruntergehen kann, weil man erstens die Potentialdifferenz so hoch machen müsste, dass sie gefährlich würde, und weil zweitens die Lichtproduction weniger Nutzeffect aufweisen würde.

„Um eine ähnliche Lampe mit Leuchtkörpern, wie sie vorhin angedeutet wurde, zur Vollkommenheit zu bringen, ist es nothwendig, Impulse von hoher Wechselzahl anzuwenden. Die hohe Wechselzahl bietet, ausser anderen, zwei Vortheile, welche für den Nutzeffect einer Lichtproduction von grosser Bedeutung sind: Erstens wird die Abnützung der Elektrode durch den Umstand verringert, dass wir eine grosse Anzahl kleiner Anstösse gebrauchen, anstatt deren wenige und heftige anzuwenden, welche die Structur der Elektrode rasch zerstören; zweitens wird die Bildung einer weiten (grossen) Photosphäre erleichtert.

*Anmerkung.* Die Frage, ob die in Tesla's Experimenten gezeigten Phänomene alleinig der hohen Wechselzahl der Ströme zuzuschreiben seien, wird

von einigen englischen Elektrikern folgendermassen beantwortet:[1])

„Es kann kein Zweifel darüber obwalten, dass die durch Tesla's Experimente hervorgerufenen Phänomene auf einer Combination von hohen Potentialen mit hoher Wechselzahl, beruhen. Ich denke nicht, dass durch einen dieser Factoren allein ähnliche glänzende Resultate erzielt werden könnten." (W. H. Preece.)

„Ich glaube, dass die überraschenden Phänomene in Tesla's Experimenten auf die hohe Wechselzahl zurückzuführen sind." (Prof. William Crookes.)

„Ein grosser Theil der Phänomene mag statischen Ladungen von ziemlich hoher Wechselzahl zuzuschreiben sein." (James Wimshurst.)

„Unsere persönlichen Versuche deuten darauf hin, dass einige der Tesla'schen Experimente auch mit Strömen von niedriger Wechselzahl wiederholt werden können." (Alexander Siemens.)[2])

„Die Tesla'schen Experimente, insoweit dieselben auf Lichterzeugung in luftleeren Röhren abzielen, mögen am ehesten der hohen Stromspannung zuzuschreiben sein. Es war schon vor Jahren bekannt, dass ähnliche Effecte in geringerem Maassstabe durch Entladungen von Inductionsspulen in geringen Intervallen, jedoch mit hoher Stromspannung, erzielt werden können. Tesla hat dieselben in grösserem Maassstabe gezeigt, und hierbei sowohl hohe Wechselzahl wie hohe Spannung anwendend, hat er die Effecte nicht nur glänzender, sondern auch continuirlicher gemacht. Man muss sich überdies vor Augen halten, dass hohe Spannung und hohe Wechselzahl in vielen Fällen aneinander gebunden sind. Wenn die Umdrehungszahl einer Wechselstrommaschine erhöht wird, nimmt sowohl die Wechselzahl als auch die Spannung zu." (Prof. Silvanus P. Thompson.)

[1]) Electrical World, April 30, 1892, p. 295.

[2]) Siehe Lord Armstrong's Versuche. La Lumiére Electrique XLVII, No 11, p. 513.



Betreffs der physiologischen Effecte äussert man sich folgendermassen:

„Wir wissen, dass kräftige Tonwellen von genügend kleiner Periodicität das Trommelfell des Ohres beschädigen können; wenn wir aber die Schwingungszahl entsprechend erhöhen, können wir Töne erhalten, welche das Ohr nicht mehr angreifen. Ebenso mit dem Lichte: Die weissen Strahlen eines Bogenlichtes können die Netzhaut des Auges angreifen; wenn die Netzhaut aber bloss von den ultravioletten Strahlen getroffen wird, üben die letzteren keine Wirkung aus. Es mag hierin vielleicht eine Analogie mit dem Verhalten von Wechselströmen niederer oder hoher Wechselzahl gefunden werden." (Gisbert Kapp.)

„Es scheint unzweifelhaft zu sein, dass Ströme von hoher Wechselzahl unschädlicher sind wie solche von niederer Wechselzahl." (Dr. J. A. Fleming.)

„Wenn man mittest einer genügend schnell rotirenden Säge eine Amputation vollziehen kann, ohne dass der Patient Schmerzen fühlt, wenn unser Ohr den Ton von Insecten nicht mehr hören kann, deren Vibration eine gewisse Zahl überschritten hat; wenn ein glühender Platindraht in der zu brennenden Wunde keine Schmerzen verursacht, sobald die Wärmewellen ihn weissglühend machen, während er bei Rothglühhitze, d. h. bei geringer Vibration, Schmerzen verursacht; wenn die violetten Strahlen das Auge weniger angreifen, als die anderen Spectumstrahlen, deren Schwingungsdauer eine längere ist, warum sollte es nach all diesem nicht vernünftig sein, anzunehmen, dass Ströme von hoher Wechselzahl keinen Einfluss auf das Nervensystem haben, während solche von geringer Wechselzahl schädlich sind?" (W. J. Hammer.)

In neuester Zeit hat Campbell Swinton interessante Versuche über die Ungefährlichkeit der elektrischen Ströme von hoher Wechselzahl angestellt. Er liess die Entladung einer starken, mit Condensatoren combinirten Inductionsspule durch seinen Körper gehen.

Eine Lampe, welche sich mit dem Körper im Schliessungskreis befand, wurde hierbei zum Glühen gebracht. Swinton schliesst aus dem Gelingen dieses Experimentes keineswegs auf die Harmlosigkeit der Ströme hoher Wechselzahl, sondern erklärt sich die Sache folgendermassen: In Folge der hohen Wechselzahl dringt der Strom nur auf die Oberfläche des Kohlenfadens ein, dessen Widerstand ist daher ausserordentlich hoch, indem bloss ein geringer Theil des Kohlenfadens als Leiter wirkt. Die Voltzahl ist hoch und nicht leicht messbar, und obwohl die Intensität der Ströme eine äusserst geringe ist, so sind die am Kohlenfaden verausgabten Watts doch genügend, um ihn ins Glühen zu bringen. Die Lampe wird aus einer gewöhnlichen 100 Voltlampe zu einer solchen von 100.000 Volts und die ganze Energie des Schliessungskreises wird in ihr verausgabt.[1]) Tesla schreibt in diesem Falle das Erglühen der Lampe nicht dem Widerstande des Kohlenfadens, sondern dem Vorhandensein von Gasmolecülen im Innern der Lampe zu.

**Die Ursache der Erhitzung des Leuchtkörpers.** Es wurde vorher erwähnt, dass in einer hohlen Glaskugel, welche nicht luftleer zu sein braucht, ein Körper erhitzt werden kann, wenn man ihn einfach mit einer Stromquelle von rapid wechselnden Potentialen verbindet. Diese Erhitzung ist aller Wahrscheinlichkeit nach auf das Anprallen der in der Kugel enthaltenen Gasmolecüle zurückzuführen. „Wir können kühn annehmen — sagt Tesla — dass das Anprallen der Molecüle einen grossen Antheil an der Erhitzung hat, selbst wenn dieselbe in luftverdünntem Raume stattfindet. Obwohl in letzterem

[1]) The Electrician, December 9, 1892, January 13, 1893. — Siehe in selber Nummer, p. 309, die Bemerkungen Elihu Thomson's zu obenstehenden Versuchen.



Falle die Anzahl der Molecüle anscheinend unbedeutend ist, so ist sie doch wegen der freien Bahn als verhältnissmässig gross anzusehen; es kommen zwar weniger Collisionen vor, aber die Molecüle können viel höhere Geschwindigkeiten erlangen, so dass der aus dieser Ursache entstehende Wärmeeffect bedeutend sein kann, wie dies in den Experimenten Crookes' mit strahlender Materie der Fall ist.

*Anmerkung.* Prof. Crookes sagt: „Die molecularen Bewegungen, welche in einer Vacuumröhre sichtbar werden, sind nicht Bewegungen von Molecülen unter gewöhnlichen Bedingungen, sondern sie sind zusammengesetzt aus diesen gewöhnlichen oder kinetischen Bewegungen und aus den auf den elektrischen Impetus zurückzuführenden Extrabewegungen. — Verschiedene Versuche erweisen, dass in solchen Röhren einige Molecüle die freie Bahn durchschnittlich mehr als hundertmale mit entsprechend vermehrter Geschwindigkeit durchstreifen können, bis sie endlich durch Collisionen aufgehalten werden.

Ferner: „Die freie Bahn nimmt mit der fortschreitenden Luftverdünnung in so rapider Weise zu, dass, während sie für Luftmolecüle unter gewöhnlichem Druck bloss ein Zehntausendstel eines Millimeters beträgt, sie bei einer Luftverdünnung von einem Hundertmillionstel einer Atmosphäre (was mit den jetzigen Apparaten leicht erreicht werden kann, und der Luftverdünnung 90 Meilen über der Erdoberfläche gleichkommt) ungefähr 30 Fuss beträgt. Zweihundert Meilen über der Erdoberfläche beträgt die freie Bahn der Molecüle schon zehn Millionen Meilen, und in Millionen von Meilen über der Erdoberfläche wird sie, praktisch gesprochen, unendlich.

„Es ist aber auch möglich — führt Tesla weiter aus — dass wir es hier mit einer erhöhten Leichtigkeit zu thun haben, in sehr hohem Vacuum die Ladung dann zu verlieren, wenn die Potentiale rapid wechseln.[1]) In diesem Falle würde der grösste Antheil an der Erwärmung der Entstehung von Ladungen in den erwärmten Körpern zuzuschreiben sein. Die in Rede stehende Glühwirkung könnte auch noch dem Umstande beigemessen werden, dass die Leuchtkörper oder Kohlenfäden im Vacuum Condensatoren von einer bedeutend grösseren Oberfläche gleichkommen, als es jene ist, welche wirklich aus ihren geometrischen Dimensionen resultirt. Die Meinungen sind noch immer darüber getheilt, ob die Ladung im vollkommenen Vacuum verloren geht oder nicht, oder in anderen Worten: ob der Aether ein Leiter sei oder nicht. Wäre das erstere der Fall, dann müsste ein in einem vollkommen luftleeren Raume eingeschlossener Kohlenfaden auch dann glühend werden, wenn er mit einer Stromquelle von enormer aber stetiger Potentialdifferenz verbunden wird.

**Von der gewöhnlichen Glühlampe.** Es wird im weiteren Verlaufe dieser Abhandlung vielfach die Rede von dem geringen Nutzeffecte sein, welchen die heute üblichen Beleuchtungsarten aufweisen. Was besonders die gebräuchliche Glühlampe anbelangt, kann sie keineswegs als Ideal einer vollkommenen Beleuchtungsart angesehen

[1]) „Electricity in Transitu: from Plenum to Vacuum." By Prof. Williams Crookes. Presidential Address. Institution of Electrical Engineers. London 1891.



werden, da sie im Verhältniss zu der vom Kohlenfaden ausgestrahlten Energie kaum fünf Procent Nutzeffect aufweist, während der grosse Rest als Wärme verloren geht.[1]) Nachdem das Verhältniss der Gesammtausstrahlung zur Lichtausstrahlung nur schwach mit der Temperatur des strahlenden Körpers anwächst, kann der Nutzeffect insolange nicht in besonderem Maassstabe erhöht werden, bis wir es nicht zuwege gebracht haben, die Wärme gebenden langen Wellenlängen zu unterdrücken und die Gesammtvibrationen unserer Lichtquelle zu jener Kürze der Welle herabzumindern, für welche unser Sehorgan empfindlich ist. Wir kehren nun auf den Weg zurück, auf welchem Tesla eine Glühlampe von grösserem Nutzeffect hervorbringen will.

**Die elektrostatische Glühlampe.** „Wenn eine hohle Glaskugel luftleer gemacht wird — sagt Tesla im weiteren Verlaufe seiner Ausführungen — so wird die Erhitzung rapider und es kann ein Draht oder ein Kohlenfaden ohne Schwierigkeiten ins Glühen gebracht werden, wenn man ihn mit dem einen Ende einer Inductionsspule von entsprechenden Dimensionen verbindet. Wenn man den bekannten Crookes'schen Apparat, welcher aus einem gebogenen Platindraht und mehreren Flügeln (Fig. 14)

[1]) Einschlägige Literatur: „The Efficiency of methods of artificial illumination. By Edward L. Nichols, professor of physics in Cornell university. A paper read before the American Institute of Electrical Engineers. — The Electrical World, Vol. XIII, Nr. 13. — Ernst Merritt: American Journai of Science, Vol. 37, p. 167. — Dr. Emil Blattner: Der optische Nutzeffect der Glühlampe, Frauenfeld 1886.

besteht, mit dem einen Spulenende verbindet, gelangt der Platindraht fast augenblicklich ins Glühen und die

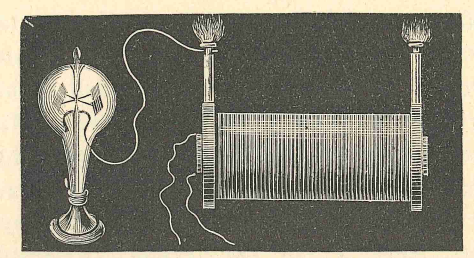


Fig. 14. Crookes' Experiment bei offenem Stromkreis.

Glimmerflügel drehen sich, ganz so wie bei dem Experimente, welches gewöhnlich mit Zuhilfenahme des Stromes einer Batterie angestellt wird.

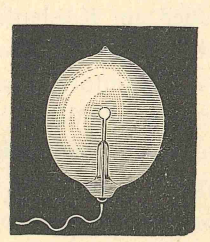


Fig. 15.
Lampe mit einem Leuchtkörper.

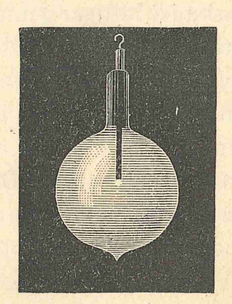


Fig. 16.
Elektrostatische Glühlampe.

Ein dünner Kohlenfaden oder vorzugsweise ein Kügelchen aus feuerbeständigem Material (Fig. 15), selbst wenn dasselbe ein verhältnissmässig schlechter Leiter ist, kann im luftleeren Raume zum Weissglühen gebracht



werden, und es kann auf diese Weise eine einfache Lampe von beliebiger Kerzenstärke hergestellt werden (Fig. 16).[1]

Bevor wir uns aber mit den Details dieser Zukunftslampen befassen, müssen wir uns zuerst mit den Mitteln beschäftigen, durch welche Ströme hoher Wechselzahl und mächtige elektrostatische Wirkungen hervorgebracht werden können. Hiervon soll im folgenden Capitel die Rede sein.

*Anmerkung*. Prof. Elihu Thomson beschreibt folgendes Experiment:[2]) Es wurde in eine gewöhnliche Glühlampenkugel ein einziger Platindraht eingeführt, an dessen Ende ein beiläufig drei Zoll langer Kohlenfaden angebracht war. Zwei Drittel des Lampenkörpers wurden in ein mit Wasser gefülltes Gefäss eingetaucht, so dass der Platindraht, welcher an den einen Pol einer Wechselstrommaschine angeschlossen war, ausserhalb des Wassers blieb. Der andere Pol der Maschine wurde in das Wasser geführt, welches durch eine Salzlösung schwach leitend gemacht worden war. Das die Kugel umgebende Wasser bildete natürlich die äussere Belegung eines Condensators, während der luftleere Raum in der Kugel und der Kohlenfaden zur Uebermittlung einer Ladung an die innere Fläche der Glaskugel dienten. Wenn nun der Kohlenfaden einem Potential von ungefähr 1000 Volts und 5000 Wechsel per Secunde ausgesetzt wurde, wurde der Kohlenfaden einfach durch das Anprallen der in der Kugel zurückgebliebenen Gasmolecüle zum intensiven Glühen gebracht.

---

[1]) Die Figur 16 ist einer Lampe nachgebildet, welche bei den Pariser Versuchen Tesla's zur Anwendung kam. (Lumière Electrique XLIII, No 9.)

[2]) Electrical World Nr. 11, Vol. XVII. The Electrician, 20. März 1891.

Zu gleicher Zeit erhitzte sich der ausserhalb des Wassers befindliche Theil des Glaskörpers, während der eingetauchte Theil nur in Folge der kühlenden Wirkung des Wassers nicht ebenso erhitzt wurde. Dieses Experiment ist darum interessant, weil bei demselben eine verhältnissmässig geringe Potentialdifferenz und Wechselzahl in Wirkung kam, und die elektrostatische Natur des Phänomens bewiesen wurde.[1])

---

## Mittel zur Hervorbringung hoher Wechselzahl.

**Maschinen zur Erzeugung von Strömen hoher Wechselzahl.** Es giebt, wie gesagt, verschiedene Möglichkeiten, elektrische Ströme hoher Wechselzahl hervorzubringen. Unter allen diesen mag es uns am einfachsten erscheinen, eine elektrische Maschine zu bauen, in welcher die Wechselströme in bekannter Weise inducirt werden. Entweder dreht sich in einer solchen Maschine der Anker und die Elektromagnete bleiben fix oder aber es findet das Umgekehrte statt. Die Anzahl der Umdrehungen hat ihre natürlichen Grenzen, ebenso auch die Anzahl der Magnetpole, welche angebracht werden können. Man hat es mit elektrischen Maschinen auf eine Wechselzahl von 30.000 pro Secunde gebracht und

[1]) Aehnliche Experimente wurden schon früher von Tesla ausgeführt. The Electrical World, Vol. XVII, Nr. 12.



dies schien auch die Grenze zu sein, welche auf mechanischem Wege erreicht werden konnte.

Tesla hat mehrere Typen solcher Maschinen geschaffen. Fig. 17 zeigt eine Wechselstrommaschine,

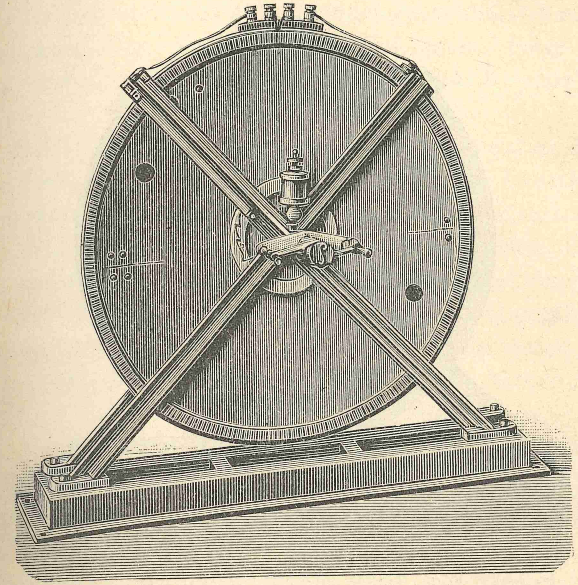


Fig. 17. Tesla's Wechselstrommaschine mit Trommelanker.

welche bei der bereits erwähnten Vorlesung im „American Institute of Electrical Engineers" zur Anwendung kam. Das Magnetfeld besteht aus einem schmiedeeisernen Ring, welcher 384 Polstücke aufweist. Der Anker besteht aus einer Stahlscheibe, auf welcher ein dünner, sorgfältig geschweisster schmiedeeiserner Reif befestigt

ist. Um diesen Reifen herum sind mehrere Lagen dünnen, gut ausgeglühten Eisendrahtes gewunden, der mit Schellack bestrichen wird. Die Ankerbewickelung ist durch mit Seidenfaden umwundene Messing-

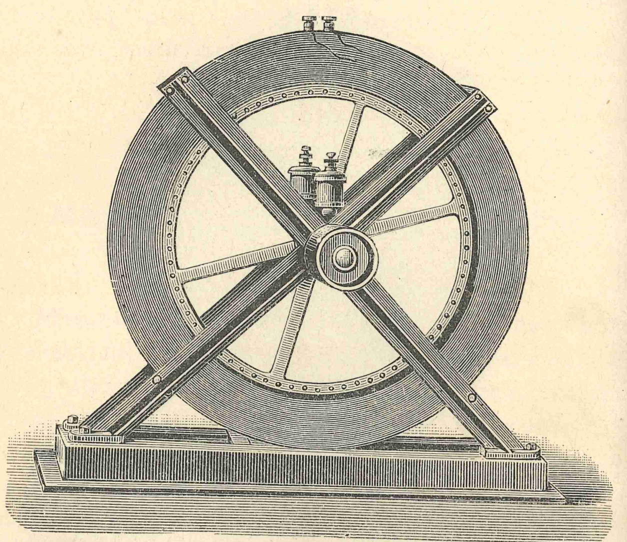


Fig. 18. Tesla's Wechselstrommaschine mit Scheibenanker.

stifte festgehalten. In dieser Maschine soll der Durchmesser des Ankerdrahtes nicht mehr als ein Sechstel der Dicke der Polstücke betragen, weil ansonsten die localen Effecte zu stark auftreten.[1]

[1] Details über die Construction solcher Maschinen sind nachzulesen in: Elektrotechnische Zeitschrift, 1891, Heft 25, S. 327.



Eine andere grössere Type Tesla'scher Wechelstrommaschinen ist in Fig. 18 gezeigt. Die Magnetspulen sind in zwei Kreisen angeordnet, und ist die Maschine entweder für Selbsterregung eingerichtet oder aber es befindet sich in derselben eine besondere Erregerspule. Jeder Kreis besteht aus 480 einander gegenüberstehenden Polstücken. Der Anker besteht aus einem Ring aus Phosphorbronze, welcher die gewöhnlich aus Kupferblech hergestellte Ankerbewickelung trägt.

Tesla hält es für gut, den Forscher, welcher ähnliche Maschinen herstellen wollte, auf zwei Umstände aufmerksam zu machen, die, obzwar selbstverständlich, dennoch leicht unterschätzt werden könnten, nämlich: auf die locale Wirkung in den Leitern, und zweitens auf den Luftraum zwischen fixen und beweglichen Theilen, welcher so gering als möglich sein muss. Es sollen hohe Peripheriegeschwindigkeiten in Anwendung kommen, es soll der Durchmesser des Ankers gross sein, um die Umdrehungszahl zu vermindern. Von den erwähnten drei Maschinentypen hat Tesla die in Fig. 1 dargestellte für jene befunden, deren Construction die geringsten Schwierigkeiten verursacht und welche für die anzustellenden Experimente ganz gut geeignet ist.

Das Bestreben Tesla's war natürlich immer darauf gerichtet gewesen, das Eisen so viel als möglich, oder auch gänzlich, im Anker zu vermeiden, doch begegnet die Construction eisenloser Maschinen bedeutenden mechanischen und anderen Schwierigkeiten und sind die hierbei erzielten Resultate keine zufriedenstellenden.

„Die Combination einer solchen Wechselstrommaschine mit einem Condensator bietet uns Gelegenkeit zu interessanten Studien. Durch gehörige Adjustirung der Capacität und Selbstinduction im ganzen Systeme erzielen wir ausserordentliche Wirkungen. Durch zweckentsprechende Anordnung der Capacität des Condensators können wir die elektromotorische Kraft der von der Maschine abgegebenen Ströme um ein Vielfaches ihres ursprünglichen Werthes erhöhen. Befindet sich der Condensator in einer gewissen Entfernung von der Maschine, so kann möglicherweise die Potentialdifferenz an den Klemmen der letzteren bloss ein geringes Bruchtheil der Potentialdifferenz am Condensator ausmachen.

„Noch interessanter aber werden die auszuführenden Versuche, wenn die Spannungserhöhung der von der Maschine abgegebenen Ströme mittelst einer Inductionsspule (Inductoriums) geschieht. In Folge der enormen Wechselzahl im primären Kreise können viel höhere Spannungen als die auf gewöhnlichem Wege erhältlichen erreicht werden. In Folge der hohen Spannung weist die Entladung im Secundärkreise besondere Eigenthümlichkeiten auf. Gewöhnlich beobachtet man an beiden Elektroden gleichgeartete Erscheinungen, obwohl aus verschiedenen Beobachtungen hervorgeht, dass ein Stromimpuls über den anderen vorherrscht.

In neuester Zeit ist die von Tesla mit seinem Alternator erreichte Wechselzahl von anderen Constructeuren überboten worden. Professor Ewing hat eine Wechselstrommaschine gebaut, die durch eine Parson'sche Dampfturbine direct angetrieben wird.



Der Anker macht 12.000 Umdrehungen in der Minute, die Wechselzahl aber beträgt 56.000 pro Secunde. Die Leistung der Maschine ist 5 Ampères bei 100 Volts Spannung.[1])

Pyke und Harris haben einen dem Ewing'schen ähnlichen Alternator construirt, mit welchem eine Wechselzahl von 64.000 pro Secunde erreicht wird. Die Leistung dieser Maschine beträgt 1 Ampère bei 100 Volts.[2])

Trouton schlägt vor, „das Princip des Transformators mit jenem der Dynamo zu combiniren", um die Wechselzahl über die bis jetzt erreichte Höhe zu bringen: z. B. durch Erregung des magnetischen Feldes mittelst eines Wechselstromes und durch Anwendung eines entsprechend bewickelten Ankers zur Hervorbringung eines zweiten Stromes. „Dies könnte dadurch erreicht werden, dass zwei Maschinen auf derselben Achse angebracht werden. Die erste ist wie eine gewöhnliche Wechselstrommaschine angeordnet; die Feldmagnete der zweiten Maschine werden von dem Anker-Wechselstrom der ersten in der Weise erregt, dass, wenn die Ankerspulen und Feldmagnetspulen sich am nächsten sind, der Strom in den Feldmagnetspulen null ist. Der Ankerstrom der zweiten Maschine würde demnach von doppelt so grosser Wechselzahl sein, weil wir der geometrischen Nullposition der Ankerspulen,

[1]) The Electrician, November 18, 1892.

[2]) The Electrician, December 9, 1892. Siehe ferner Tesla's Bemerkungen über diese neueren Typen in „Electrician", December 23, 1892, p. 222.

welche sich auf halbem Wege zwischen zwei Feldmagnetspulen befindet, Nullposition an den Feldmagnetspulen gegenübergestellt haben. Die zwei Maschinen können natürlich zu einer einzigen combinirt werden; nur drehen sich in diesem Falle die Feldmagnete der zweiten Maschine und bilden in Wirklichkeit die Ankerspulen der ersten Maschine, während die anderen Spulen, welche den Anker der zweiten Maschine bilden sollen, fix bleiben. („Radiation of electric energy" by Fred T. Trouton. Lectures delivered in Inverness, December 1891.)[1])

**Anwendung von Condensatorentladungen.** Wie wir bereits erwähnt haben, lässt sich mit Wechselstrommaschinen nur eine verhältnissmässig beschränkte

[1]) Diese Grundidee wurde von mir in einem amerikanischen Patente (Nr. 390.721, 9. October 1888), betreffend eine Wechselstrommaschine, schon im Jahre 1888 beschrieben. In dieser Maschine wurde das damals von mir bekannt gemachte Princip des rotirenden magnetischen Feldes in Anwendung gebracht. Der Feldmagnet dieser Maschine wurde durch zwei mit ihrer Phase um 90 Grad verschobene Ströme erregt, welche das magnetische Feld in einer, der Drehung des Ankers umgekehrten Richtung rotirten. Die Ankerwindungen waren dann von Strömen durchflossen, welche die doppelte Frequenz hatten, wenn das magnetische Feld und der Anker dieselbe Geschwindigkeit hatten. Mit dieser Maschine konnte jede beliebige Frequenz, kleiner wie jene der Phasenströme, erzielt werden; es war auch nicht schwer, die Frequenz auf das Dreifache oder Vierfache zu erhöhen. Diese Maschine hatte auch einen höheren Nutzeffect, als wenn ein einziger Erregungsstrom für das Feld benutzt würde, wie F. Trouton vorschlägt (Experimente mit einer solchen Maschine wurden von mir gemacht). N. T.



Wechselzahl erreichen. Zur Hervorbringung der elektrostatischen Effecte, welche Tesla für die Erzeugung des „Lichtes der Zukunft" nothwendig hält, und von welchen später die Rede sein soll, sind, wie gesagt, ausserordentlich hohe Wechselzahl und Potentiale nothwendig. Die Entladungen eines Condensators, einer Leydener Flasche z. B., bieten uns die Mittel zur Erreichung des Gewünschten. „Die in Anwendung kommenden Apparate müssen — sagt Tesla — es uns möglich machen, die höchsten elektrostatischen Potentiale in rapidester Wechselzahl hervorzubringen. Hohe Wechselzahl ist besonders erwünscht, weil es in der Praxis erforderlich wird, die Potentialdifferenz so niedrig wie möglich zu machen. Wenn Maschinen, oder im Allgemeinen gesprochen, mechanische Apparate angewendet werden, kann nur eine verhältnissmässig niedere Wechselzahl erreicht werden: man muss daher zu anderen Mitteln greifen.

Dieses Mittel finden wir in oscillatorischen Entladungen. Colley hat drei verschiedene Möglichkeiten, solche Entladungen zu erregen, zusammengestellt, nämlich: „1. Man kann einen Condensator, z. B. eine Leydener Flasche, durch irgend welche Elektricitätsquelle laden und sie dann durch den Schliessungskreis entladen; 2. man kann die Schwingungen in einer ungeschlossenen Inductionsrolle hervorbringen, indem man den Hauptstrom in der inducirenden Rolle schliesst und unterbricht; 3. die Energie eines elektromagnetischen Feldes wird benutzt, um in einem Stromkreise, dessen Enden mit den Belegen eines Condensators in Verbindung stehen, eine alternirende Bewegung der Elektri-

cität hervorzurufen und zu unterhalten, bis der Energievorrath durch die Ueberwindung des Widerstandes der Leitung und einiger anderer hier möglichen Wirkungen verbraucht wird.[1])

Die Entladungen eines Condensators bieten uns die Mittel zur Erreichung von weit höherer Wechselzahl, als jene, welche wir durch mechanische Mittel erreichen können, und deswegen hat Tesla bei den hier angeführten Versuchen Condensatoren angewendet.[2])

[1]) Colley: „Ueber einige Methoden zur Beobachtung elektrischer Schwingungen und einige Anwendungen derselben." Wied. Ann. Band XXVI, p. 432. — Die Möglichkeit einer schwingenden oder alternirenden Bewegung der Elektricität bei der Entladung eines elektrisch geladenen Leiters ist seit dem Jahre 1853 von W. Thomson theoretisch vorausgesehen worden. Siehe ferner die diesbezüglichen Versuche und Abhandlungen von Feddersen, Helmholtz, Oettingen, Bernstein, Schiller, Lorenz, Mouton, Polaček, Olearsky, Oberbeck, Stefan u. A.

[2]) Josef Henry scheint der Erste gewesen zu sein, welcher den oscillatorischen Charakter der Entladung einer Leydener Flasche nachwies. In den „Proceedings of the American Philosophical Society", Vol. II, pp. 193—196, June 17, 1842, findet man eine Note: „On Induction from Ordinary Electricity and on the Oscillatory Discharge", in welcher es heisst: „The Discharge of a Leyden jar, whatever may be its nature, is not correctly represented (employing for simplicity the theory of Franklin) by the single transfer of an imponderable fluid from one side of the jar to the other; the phenomena require to admit the existence of a principal discharge in one direction, and then several reflex actions backward and forward, each more feeble than the preceeding, until the equilibrium is obtained." — Siehe ferner: Scientific Writings of Prof. Henry, Washington 1886. — The Electrician, November 2, 1888, March 22, 1889. — Matteucci Ch.: „Sur l'induction de la décharge de la bouteille." Annales de Chimie et de Physique, tome IV, 1842, p. 153. — Einleitung: „Ce mémoire contient les résultats que j'ai décrits dans mon mémoire publié dans le tome IV des Archives de l'Electricité, p. 136, et que j'ai confirmés par de nouvelles recherches aussi que la continuation de ce sujet, dont j'ai fait part au congrès de Florence. On sait que le découverte de l'induction produite par la décharge de la bouteille, faite d'abord par M. Henry de Princeton, se faisait dans le même temps par M. Masson en France, par M. Ries à Berlin, par M. Marianini et par moi même en Italie."

Masson et Breguet fils: „Mémoire sur l'induction", présenté à l'Académie des Sciences le 23 août 1841. „Un courant d'induction magnétique peut produire des étincelles à distance dans l'air, et charger fortement un condensateur; par conséquent, un courant d'induction peut être entièrement transformé en électricité statique. C'est, nous le pensons, la première fois, qu'on obtienne d'une manière qui ne laisse aucun doute l'étincelle à distance avec un simple courant." Annales de Chimie et de Physique, tome IV 1842, p. 131, 138.

Marianini: „Des courants produits par l'induction des courants électriques instantanés. De l'influence qu'exercent certaines circonstances sur l'intensité et la direction des courants produits par l'induction leyd-électrique." Annales de Chimie et de Physique, tome X, 1844, p. 491, tome XI, 1844, p. 385. — Siehe auch: „The Discharge of a Leyden jar." Discourse at the Royal Institution of Great Britain, March 8, 1889, by Prof. Oliver Lodge, F. R. S



*Anmerkung.* Kurz nach der Veröffentlichung der Beschreibung von Wilde's elektromagnetischer Maschine, kam Sir W. Grove auf den Gedanken, eine Inductionsspule mit Wechselströmen zu erregen.[1]) Er verband die Enden des Primärkreises (mit Ausschluss des Stromunterbrechers und Condensators) direct mit der Maschine,

[1]) Philosophical Magazine, März 1868.

erhielt aber von der Secundärspule keine Entladung. Maxwell[1]) erklärte dies dadurch, dass die Selbstinduction der Primärspule der wechselnden elektromotorischen Kraft des Generators derart hindernd entgegentrat, dass derselbe in der Primärspule nur einen schwachen Strom entwickeln konnte. Wurde aber der Condensator mit der Primärspule auf Spannung geschaltet, so hob die Capacität des Condensators einen grossen Theil der Selbstinduction auf, der Strom im Primärkreise wurde stärker, hierdurch entstand auch in der Secundärspule ein starker Strom und die Entladungen stellten sich ein. — Später befasste sich Dr. Alexander Muirhead mit der Einwirkung eines Condensators auf Wechselströme, welche von Dr. Hopkinson näher erläutert wurde.[2])

Fizeau[3]) scheint jedoch der Erste gewesen zu sein, welcher annahm, dass die Wirkung einer zur Erhöhung der elektromotorischen Kraft eines Stromes angewendeten Inductionsspule, durch Zuhilfenahme eines Condensators verstärkt werden könnte. — Fizeau verband den Condensator mit der Unterbrechungsstelle des Primärkreises. Werden aber statt des den Primärkreis erregenden Gleichstromes zu dieser Erregung Wechselströme angewendet, so wird der Condensator, wenn er in der eben beschriebenen Weise angewendet wird, überflüssig, das heisst, wenn die Frequenz der Primärströme eine sehr geringe ist. Ist aber die Frequenz eine sehr grosse, so ist es wünschenswerth, einen Condensator mit der Primärspule zu verbinden, und zwar thut man am besten, den Condensator in Serie mit dem Primärdrahte zu verbinden.

[1]) Siehe Phil. Mag., Vol. XXXV, 5. series 1863, p. 360. — Ferner: Scientific Papers, Vol. II, p. 121.

[2]) Journal Society of Telegraph Engineers, XIII, p. 513.

[3]) Comptes Rendus, Vol. XXXVI, p. 418, 1853. — „The Alternate Current Transformer in Theory and Practice" by J. A. Fleming. V. Capitel, p. 383.



Tesla schaltet auch, wie aus dem Diagramm Fig. 19 hervorgeht, einen Condensator als Ueberbrückung in den Secundarkreis ein.

**Der Condensator als Transformator.** „Wenn die Enden einer Hochspannungs-Inductionsspule mit einer Leydener Flasche verbunden werden, und die letztere wird unterbrechungsweise in einen Stromkreis entladen, können wir den zwischen den Metallknöpfen spielenden Lichtbogen als eine Quelle von Wechselströmen, oder, allgemein gesprochen, von wellenden Strömen betrachten[1]) und wir haben es dann mit dem uns bekannten System eines Generators solcher Ströme, mit einem an denselben anzuschliessenden Stromkreis und mit einem den

[1]) In den zwei Metallbekleidungen einer Leydener Flasche ist augenscheinlich Energie aufgespeichert, welche sich in elektrische Ströme umsetzt, sobald die Flasche durch Verbindung der Metallbekleidungen mittelst eines Drahtes, zur Entladung gebracht wird. Diese Ströme werden Wechselströme sein, sobald der Ausladedraht nicht zu lang und sein Widerstand nicht zu gross ist. Die durch den Durchgang des Stromes im Draht erzeugte Wärme bildet keine genügende Verausgabung der in der Flasche aufgespeicherten Energie. Die überschüssige Energie wird in dem Strome selbst eine Ueberstürzung hervorrufen, und das zwischen den Metallbekleidungen befindliche Medium wird beinahe denselben Grad der Spannung aufweisen wie vorher, nur in entgegengesetzter Richtung. Es wird sich wieder ein Strom bilden, und zwar in entgegengesetzter Richtung zu dem vorher entstandenen, u. s. w. Die Ströme oscilliren, beinahe einem Pendel gleich, hin und her, bis alle Energie verausgabt ist. Auf diese Weise können mittelst einer, im Vergleich zu einer Dynamo als automatisch anzusehenden Anordnung, rapid wechselnde Ströme hervorgerufen werden. („Radiation of electric energy" by Fred. T. Trouton.)

letzteren überbrückenden Condensator zu thun. Der Condensator ist in einem solchen Falle ein wirklicher Transformator, und nachdem die Wechselzahl eine ausserordentlich hohe ist, kann beinahe jedes Verhältniss der Stromstärke in beiden Kreisen erhalten werden. In Wirklichkeit ist diese Analogie nicht ganz vollständig, weil im Allgemeinen die unterbrechungsweise Entladung eines Condensators zweierlei Variationen oder Vibrationen in sich begreift, nämlich eine augenblickliche Variation von verhältnissmässig niederer Wechselzahl, und eine kleinere oberflächliche, harmonische Vibration. Die auf gewöhnliche Stromkreise anzuwendenden Gesetze sind für Condensator-Entladungen solcher Art und für Wechselströme nicht die nämlichen.[1])

*Anmerkung*. Experimente, welche von Prof. Elihu Thomson angestellt wurden, haben den Genannten zur Annahme geführt, „dass der Durchgang von mächtigen Condensatorentladungen durch eine aus wenigen Windungen dicken Drahtes bestehende Primärspule, in einer aus zahlreicheren Windungen dünneren Drahtes bestehenden und parallel zur primären gewundenen Secundärspule Entladungen von bedeutend höherem Potential, aber geringerer Stromstärke induciren könnte. In diesem Falle wird die Primärwickelung einer Ruhmkorff'schen Inductionsspule direct durch Entladungen hohen Potentials eines Condensators erregt, anstatt dass sie durch einen

[1]) „Phenomena of alternating currents of very high frequency." By Nikola Tesla. Electrical World. Vol. XVII, Nr. 8. — Korda: „Theorie eines durch einen Transformator wirkenden Condensators", Elektrotechn. Zeitschrift 1893, Heft 6. — Sahulka: „Verwendung der Condensatoren im Wechselstrombetriebe." Elektrotechn. Zeitschrift 1893, Heft 20.



mittelst Unterbrecher und Condensator auf hohes Potential gebrachten Batteriestrom erregt würde."[1])

„Bei der durch den Condensator bewirkten Transformation der Ströme soll das Umwandlungsverhältniss nicht zu gross sein, weil der Verlust in dem zwischen den Entladungsknöpfen spielenden Lichtbogen mit dem Quadrat der Stromstärke zunimmt. Wird die Leydener Flasche deshalb durch sehr dicke und kurze Leiter entladen, um hierdurch eine sehr schnelle Oscillation zu erhalten, so geht ein beträchtlicher Theil der aufgespeicherten Energie verloren. Andererseits ist ein zu geringes Umwandlungsverhältniss aus verschiedenen Ursachen nicht anzuwenden.

Nachdem die erhaltenen Ströme in einem geschlossenen Kreise verausgabt werden, so sind die elektrostatischen Effecte gering, und Tesla wandelt daher die Ströme niederer Spannung in solche von den gewünschten Eigenschaften um. „Diese Umwandlungen geschehen auf verschiedene Weise. Man kann mit einem kleinen billigen Apparate enorme Potentialdifferenzen erreichen, zu deren Hervorbringung bis jetzt grosse und theuere Spulen verwendet wurden. Zu dem in Rede stehenden Zweck kann man eine gewöhnliche kleine Spule mit einem Condensator und einem Entladungskreis, welcher den Primärkreis einer anderen kleinen Spule bildet, in Verbindung bringen. Durch zweck-

[1]) The Electrical World, Vol. XIX, Nr. 8, p. 116. Dieses Princip wurde übrigens zuerst von mir in dem Amerikanischen Institute of El. Engineers 1891, beschrieben. N. T.

mässige Anordnung der Apparate können bemerkenswerthe Resultate erzielt werden.

Fig. 19 ist die von Tesla ursprünglich angegebene schematische Anordnung zur Umwandlung von hochgespannten Strömen in solche niederer Spannung mittelst unterbrechungsweiser Entladungen eines Condensators. „Der Entladungsfunke verursacht wohl einige Schwierigkeiten, aber dieselben — sagt Tesla — können überkommen werden. Es giebt ausser diesen letzteren und der nothwendigen Regulirung der Spule keine anderen

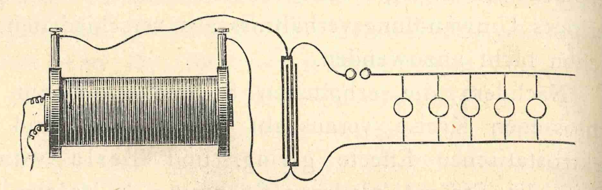


Fig. 19. Inductionsspule und Condensator.

Schwierigkeiten, und es ist leicht, Glühlampen, ja selbst Motoren, mit auf dieser Weise erhaltenen Strömen in Gebrauch zu setzen. Da man die Leitung an die Erde anschliesst, können die Drähte unbeschadet berührt werden, wie gross die Potentialdifferenz an den Condensatorpolen auch sein mag. In manchen Experimenten wurde eine Hochspannungs-Inductionsspule, welche von einer Batterie oder von einer Wechselstrom-Maschine erregt wurde, zur Ladung des Condensators verwendet, doch kann die Inductionsspule auch durch einen anderen Apparat, mit welchem man Elektricität von gewünscht hoher Spannung erzeugen könnte, ersetzt werden. Es



können in der erwähnten Weise sowohl Gleichstrom als Wechselströme umgewandelt werden, und in beiden Fällen kann ein beliebiger Wechsel der Stromimpulse erreicht werden. Wenn die zur Ladung des Condensators verwendeten Ströme derselben Richtung sind und man wünscht, dass auch die umgewandelten Ströme derselben Richtung seien, soll der Widerstand des Entladungskreises so gewählt werden, dass keine Oscillationen vorkommen."

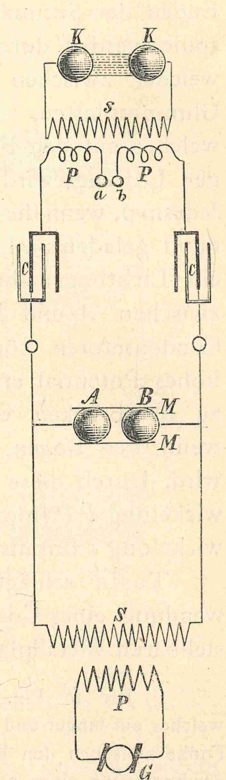



Fig. 20. Anordnung der Stromkreise in Tesla's Experimenten.

Die von Tesla in seinen Londoner Experimenten benutzte Anordnung ist die in Fig. 20 gezeigte. *G* ist eine gewöhnliche Wechselstrommaschine, welche die Primärwickelung *P* einer Inductionsspule erregt. Die in der Secundärwickelung *S* inducirten Ströme laden die Condensatoren oder Leydener Flaschen *CC*. Die Enden der Secundärwickelung sind mit den inneren Belegungen der Leydener Flaschen verbunden, während die äusseren Belegungen mit der Primärwickelung einer zweiten Inductionsspule *PP* verbunden sind. Diese Primärwickelung ist in *ab* durch eine kleine Funkenstrecke unterbrochen. Die Secundärwickelung *S* dieser zweiten Inductionsspule

endet in den Entladungspolen *KK*, welche auf die gewünschte Entfernung eingestellt werden können. Die Enden der Secundärwickelung *S* der ersten Inductionsspule werden durch einen langen Funken überbrückt, welcher zwischen den Kugeln *AB* spielt. *MM* sind Glimmerplatten, welche dazu dienen, den Luftzug, welcher auf den Funken einwirkt, zu verstärken. Durch den Luftzug wird der Funke zeitweise unterbrochen. Jedesmal, wenn dies geschieht, werden die Condensatoren rapid geladen und in *PP* entladen, wodurch sich in *KK* ein Lichtbogen herstellt. Sobald sich ein Lichtbogen zwischen *A* und *B* bildet, fällt das Potential und die Condensatoren können durch directe Ladung kein so hohes Potential erreichen, als dass dies die Strecke *ab* zu überbrücken vermöchte. Dies kann nur geschehen, wenn der Bogen durch den Luftstrom unterbrochen wird. Durch diese Unterbrechung werden in der Primärwickelung *PP* Impulse erreicht, welche in der Secundärwickelung *s* Impulse von grosser Intensität hervorrufen.[1])

Tesla schlägt für manche Experimente die Anwendung eines Condensators vor, welcher aus zwei verstellbaren Metallplatten besteht, die in Oel eingetaucht

[1]) Die in Fig. 20 beschriebene specielle Anordnung, in welcher ein langer und durch den Luftzug zeitweise unterbrochener Funke zwischen den Kugeln *AB* spielt, bezweckt die Imitation der Entladung einer gewöhnlichen statischen Maschine. Es werden nämlich in dieser Weise an den secundären Spulenenden *KK* einzelne Funken erzeugt, welche genau jenen einer Holtz'schen Maschine gleichen. Sonst ist der Funke zwischen *AB* gewöhnlich kurz und die Funkenstrecke *ab* geschlossen (*a* und *b* metallisch verbunden). N. T.



sind. Die zu den Condensatorplatten führenden Drähte sollen mit einer dicken Isolirschichte umgeben sein, welche eine leitende Oberfläche besitzt, deren Anfang noch in das Oel eintaucht. Die leitende Oberfläche soll nicht zu nahe zu den Drahtenden sein, damit nicht Funken von den Platten auf sie überspringen. Die leitende Oberfläche wird vermöge ihrer Wirkung als elektrostatischer Schirm (screen) zur Verhütung von Verlusten in der Luft angewendet.

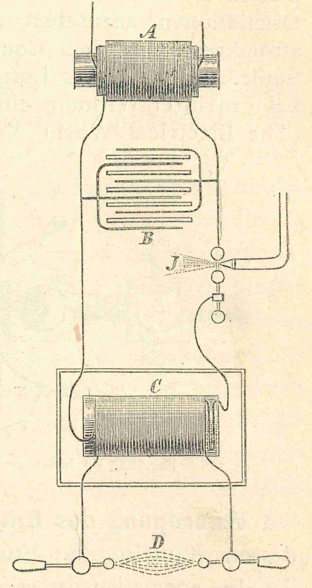


Fig. 21. Anordnung der Stromkreise in Elihu Thomson's Experimenten.

*Anmerkung.* Eine von Prof. Elihu Thomson angewendete Anordnung zur Umwandlung von Wechselströmen, bei welchen der Condensator die Rolle eines Transformators spielt, ist in Fig. 21 dargestellt. *A* ist eine grosse Inductionsspule oder ein Transformator. Ein Condensator *B* wird durch den Strom der Secundärspule von *A* geladen. *C* ist ein besonderer Transformator, dessen primäre Wickelung aus einigen Windungen dicken Drahtes besteht. Die Entladungspole *J* gegen welche ein Luftstrom gerichtet wird,[1]) befinden sich im Stromkreise

[1]) Die Anwendung eines Magneten oder Luftgebläses wurde zuerst von mir angewendet und beschrieben. Siehe Inst. Electr. Engineers, Proceedings Part. 97, Vol. XXI, Seite 65 und 68. N. T.

der Primärwickelung von *C*. Die dünne Secundärwickelung von *C* endet in den Entladungspolen *D*, zwischen welchen Funken von bedeutender Länge erzielt werden, wenn die Entfernungen der Pole in *D* und *J* entsprechend geregelt werden. Die Inductionsspule *A* und die Condensatorplatten *B* sind als eine Quelle sehr rapider elektrischer Oscillationen anzusehen und entsprechen dem Erregerstromkreise und dem Condensator einer Ruhmkorff'schen Spule, während das Luftgebläse und die Funkenstrecke bei *J* in ihrer Wirkung einem Unterbrecher gleichkommen. (The Electrical World, Vol. XIX, Nr. 8, p. 117).

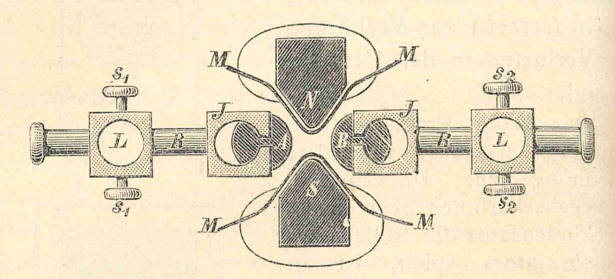



Fig. 22. Verbesserter Entlader mit Magnetgebläse.

**Anordnung des Entladers.** Der Entlader, zwischen dessen Kugeln die Funken überspringen, wird von Tesla entweder in seiner üblichen oder in einer von ihm veränderten Form angewendet.

Eine dieser Aenderungen besteht darin, dass die verstellbaren Kugeln *A* und *B* (Fig. 22) durch Federkraft in Messingklemmen *JJ* festgehalten werden, wodurch es möglich ist, die Kugeln nach allen Richtungen zu drehen, so dass das lästige Aufpoliren der ersteren weniger oft zu geschehen braucht.



Eine andere Aenderung Tesla's besteht in der Anwendung eines kräftigen Elektromagneten *NS*, dessen Pol-Enden verstellbar sind und die in den Raum zwischen den Kugeln hineinragen. Um ein Ueberspringen der Entladung auf den Magneten zu verhindern, sind die Pol-Enden desselben mit einer genügend dicken Glimmerschicht *MM* versehen. $s_1 s_1$ und $s_2 s_2$ sind Schrauben zur Befestigung der Drähte, und zwar je zwei für dicke, je zwei andere für dünne Drähte. Die Kugelhälter *RR* werden durch Schrauben *LL* in ihrer Position festgehalten.

„Die Anwendung eines kräftigen Magnetfeldes (respective eines magnetischen Gebläses) ist — sagt Tesla — besonders dann von Vortheil, wenn die Inductionsspule (oder der Transformator) von Strömen geringer Wechselzahl erregt wird. In einem solchen Falle können die Erreger-Entladungen (fundamental discharges) so schwach werden, dass sie in der Secundärwickelung einen für die Anstellung mancher Experimente genügend kräftigen Effect nicht hervorzubringen vermögen. Das Magnetfeld wird nun dazu dienen, den zwischen den Entladerkugeln spielenden Funken, sobald er sich gebildet hat, auszublasen und die Erreger-Entladungen finden dann in rascherer Aufeinanderfolge statt. Anstatt des magnetischen Gebläses kann auch ein Luftgebläse in Anwendung kommen. In diesem Falle ist es vorzuziehen, die Funkenstrecke zwischen *AB* wie in Fig. 20 herzustellen (die Kugeln *ab* werden aneinander gestossen oder ganz weggelassen), weil bei dieser Anordnung der Funke lang und unbeständig ist und durch den Luftstrom leicht angegriffen werden kann.

„Wenn ein magnetisches Gebläse zur Unterbrechung des Funkens angewendet wird, ist es vortheilhafter, die in Fig. 23 gezeigte Anordnung zu wählen, in welcher die den Funken hervorbringenden Ströme stärker werden, und das Magnetfeld kräftiger einwirkt. Bei Anwendung des magnetischen Gebläses kann die Entladung zwischen den Kugeln durch eine solche in Vacuum-Röhren ersetzt werden, doch begegnet die Durchführung dieser Anordnung erheblichen Schwierigkeiten.

Eine andere Form des Entladers, wie solche in den Tesla'schen Experimenten zur Anwendung kam,

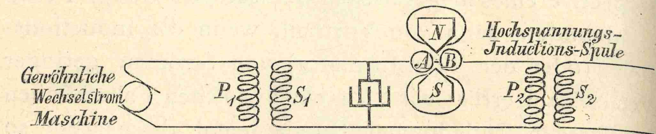


Fig. 23. Anordnung der Stromkreise mit verbessertem Entlader.

ist in Fig. 24 und 25 angegeben. Der Entlader besteht aus einer Anzahl von Messingstücken *c c*, welche in einen Reif *m* und in einen Dorn *e* auslaufen. Die Drähte werden auf *f* durch die Schraubenmutter *n* festgeklemmt. Die fein abpolirten Stücke sind drehbar, um im Verlaufe der Experimente den rauh werdenden Punkten neue polirte Oberflächen folgen lassen zu können. Die Entlader werden in mit einer Nuthe *g* versehenen Hartgummileisten *R* festgehalten.

Tesla hat in der Anwendung dieser Form des Entladers drei hauptsächliche Vortheile gefunden. Erstens ist das dielektrische Vermögen eines Luftraumes bedeutender, wenn derselbe in mehrere kleine Räume



aufgetheilt wird, und es finden weniger Verluste und geringere Beschädigungen des Metalles statt; zweitens werden durch die Auftheilung des Funkens in mehrere

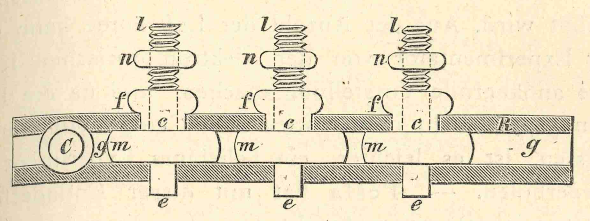


Fig. 24. Entlader mit mehrfachen Funkenstrecken.

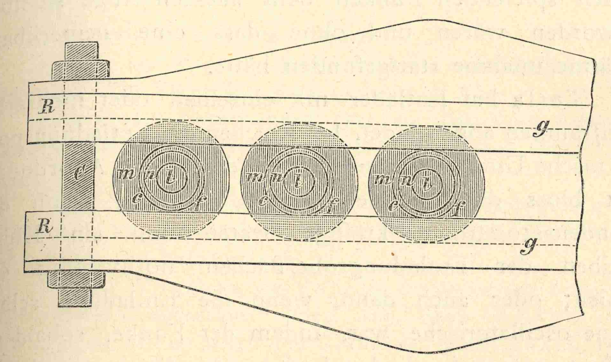


Fig. 25. Entlader mit mehrfachen Funkenstrecken.

kleine Funken, die polirten Oberflächen des Entladers weniger rasch rauh werden, und drittens liefert die beschriebene Anordnung einen gewissen Maassstab für die auftretenden Spannungen. Die Messingstücke werden auf solche gleichmässige Entfernungen voneinander gestellt, von welchen (nach den Experimenten Sir William

Thomson's) bekannt ist, dass zu ihrer Ueberbrückung durch einen Funken ein gewisser Spannungsgrad erforderlich ist. Man muss sich natürlich vor Augen halten, dass die Funkenstrecke abnimmt, wenn die Wechselzahl erhöht wird. Aus der Anzahl der Lufträume kann sich der Experimentator von der elektromotorischen Kraft eine annähernde Vorstellung machen, und da die Entladungspole nicht immer wieder neu eingestellt werden müssen, ist es leichter, ein beliebiges Experiment zu wiederholen. — Tesla hat mit dieser Entladerform Stromwechsel hervorgebracht, ohne dass die zwischen den Polen spielenden Funken dem nackten Auge sichtbar geworden wären und ohne dass eine bemerkbare Wärmezunahme stattgefunden hätte.

Tesla hat Entlader mit einzelnen oder mehreren Lufträumen angewendet, bei welchen die Entladungspole in rasche Umdrehung versetzt werden. Diese Anordnung bot bloss dann nennenswerthe Vortheile, wenn die Condensatorströme kräftige waren und ein Kühlbleiben der Entladungsoberflächen nothwendig erschien; oder auch dann, wenn die Entladung selbst keine oscillatorische war, indem der Funke, sobald er auftrat, sofort durch den Luftstrom gelöscht wurde. In letzterem Falle wurde die Vibration durch die beschriebene Anordnung in rasch aufeinander folgenden Intervallen hergestellt. — Auch mechanische Unterbrecher sind von Tesla versucht worden. Um hierbei Schleifcontacte zu vermeiden, zog es der genannte Erfinder vor, den Funken herzustellen und denselben mit einer durchlöcherten Glimmerplatte, welche sich mit grosser



Geschwindigkeit drehte, zu durchschneiden. „Es ist selbstverständlich, dass die Wirkung eines Magnetgebläses, Luftgebläses oder anderer Arten von Unterbrechern nur dann von Bedeutung ist, so lange Selbstinduction, Capacität und Widerstand in einem derartigen Verhältniss zueinander stehen, dass auch bei jeder Unterbrechung eine Oscillation entsteht.

**Der Kraftverlust in Condensatoren.** „Der Kraftverlust in Condensatoren kann auf drei Ursachen zurückgeführt werden: nämlich erstens auf die Aufsaugung

---

Dem Verfasser bekannte Literatur:

Ayrton und Perry: „Specific inductive capacities of certain dielectrics." The Electrician, June 15, 1878, p. 37.

Bequerel: „Untersuchung über die elektrische Leitungsfähigkeit starrer und flüssiger Körper." Pogg. Ann. Band LXX, p. 243.

Bezold: „Ueber das Verhalten der starren Isolatoren gegen Elektricität." Pogg. Ann. Band CXXV, 1865, p. 132. Hinweis auf die Arbeiten von Kohlrausch.

Bezold W.: „Ueber das Verhalten der isolirenden Zwischenschicht eines Condensators." Pogg. Ann. Band CXXXVII, 1869, p. 223. Bemerkungen hierzu von Clausius. Band CXXXIX, 1870, p. 276.

Bezold W.: „Untersuchungen über dielektrische Ladung und Leitung." Wied. Ann. Band XXIII, p. 426.

Boltzmann: „Experimentaluntersuchung über das Verhalten nicht leitender Körper unter dem Einfluss elektrischer Kräfte." Pogg. Ann. Band CLIII, 1874, p. 525. — „Experimentelle Bestimmung der Dielektricitätsconstante einiger Gase." Pogg. Ann. Band CLV, p. 403. — „Experimentelle Bestimmung der Dielektricitätsconstante von Isolatoren." Pogg. Ann. Band CLI, 1874, p. 482, 531.

der Entladung,[1]) zweitens auf die unvollkommene Elasticität des Dielektricums und drittens auf die Entstehung von Ladungen in den Leitern.

---

Bouty M.: „Sur la conductibilité électrique des dissolutions salines ou acides." Annales de Chimie et de Physique, tome XIV, p. 36.

Bouty M.: Étude des proprietés diélectriques du mica." Annales de Chimie et de Physique, tome XXIV, p. 395.

Bouty M.: „Sur la co-existence du pouvoir diélectrique et de la conductibilité électrolytique." Comptes rendus, tome CXIV, p. 1421.

Bouty M.: „Valeur de la constante diélectrique du mica." La Lumière Électrique, tome XLIII, p. 284.

Cohn und Arons: „Untersuchungen über die flüssigen Dielektrica." Wied. Ann. 1886, 1888.

Curie J.: „Aperçu Général sur la charge des diélectriques." La Lumière Électrique, tome XXVIII, p. 580, tome XXIX, p. 13. — „Recherches expérimentales sur la conductibilité électrique des diélectriques." La Lumière Électrique, tome XXIX, p. 221, 255, 318. — „Recherches sur la conductibilité des diélectriques." Annales tome XVII, p. 386, tome XVIII, p. 203. — „Déformation électrique des diélectriques." La Lumière Électrique, tome XXX, p. 423, 465, 521, 575.

Donle W.: „Bestimmung von Dielektricitätsconstanten." Wied. Ann. Band XL, p. 307. — Bemerkungen hierzu von Winkelmann, Band CL, p. 732.

Elsas A.: „Ueber eine neue Methode zur Bestimmung von Dielektricitätsconstanten." Wied. Ann. Band XLIV, p. 684.

Hess A.: „Sur les isolants." La Lumière Électrique, tome XLVI, No 48 et 49.

[1]) Kapp nennt es: „charge soaking in", Prof. S. P. Thomson: „absorption", Tesla: „leakage".



Es giebt wenig Dielektrica, welche nichts von der Ladung absorbiren. Prof. S. P. Thompson kennt als solche nur reine *Quartzkrystalle*. Dr. Hopkinson hat

---

Kaegi: „Untersuchungen über das Verhalten des Glimmers als Condensatormedium." Inaugural-Dissertation, Zürich, 1882. Lumière Électrique, tome XXV, p. 570.

Klemencic J.: „Ueber das Glimmer als Dielektricum." Sitzungsberichte der kais. Akad. der Wissenschaften, Band XCVI.

Korteweg: „Ueber die Veränderung der Form und des Volumens dielektrischer Körper unter Einwirkung elektrischer Kräfte." Wied. Ann. Band IX, 1880, p. 48.

Lecher: „Ueber die Messung der Dielektricitätsconstanten." Wied. Ann. Band XLII, p. 142.

Matteucci: „Mémoire sur la propagation de l'électricité dans les corps solides isolants." Annales de Chimie et de Physique, tome XXVII, 1849, tome XXVIII, 1850, p. 385. — „Sur les propriétés électriques des corps isolants", tome LVII, 1859, p. 423.

Muraoka H.: „Ueber den elektrischen Rückstand." Wied. Ann. Band XL, p. 329.

Oddone: „Sulla variazione di volume dei liquidi dielettrici sotto l'azione delle forze elettriche tra le armature d'un condensatore." Atti delle Reale accademia dei Lincei, volume VI, 1, 1890, p. 452.

Oettingen: „Der Entladungsrückstand der Leydener Batterie in seiner Abhängigkeit von der Beschaffenheit der isolirenden Substanz." Wied. Ann. Band I, 1877, p. 305.

Palaz A.: „Recherches expérimentales sur la capacité inductive spécifique de quelques diélectriques." 1886. (Züricher Dissertation.)

Perot M. A.: „Mesure de la constante diélectrique par les oscillations électromagnetiques." Comptes rendus, tome CXV, p. 38. — La Lumière Électrique, tome XLV, p. 239.

Perot M. A.: „Sur la mesure de la constante diélectrique." Comptes rendus de l'Académie des Sciences, tome CXV, p. 165.

Poynting J. H.: „On a mechanical model, illustrating the residual charge in a dielectric." Paper read before the Birmingham

eine Glasart gefunden, welche ebenfalls keine Ladung aufsaugt. Sir W. Thomson hat vor mehreren Jahren Versuche mit *Glasflaschen* angestellt, welche keine bemerkenswerthe Absorption zeigten. Hierbei wurde Schwefelsäure als Material für die Belegungen angewendet. Die letzteren entluden sich vollkommen, sobald der Ausladedraht an sie geschlossen wurde. Die Dauer

---

Philosophical Society, November 1888. — The Electrician, August 16, 1889.

Preece: „On the dielectric of condensers." Paper read before the British Association. Edinburgh, 1872. — The Electrician, Vol. XXIX, p. 744.

Price W. A.: „On the structure of a solid dielectric and the residual charge." The Electrician, February 5, 1892. — La Lumière Électrique, tome XLIII, p. 620.

Riecke E.: „Zur Theorie der dielektrischen Mittel." Pogg. Ann. Jubelband, 1874, p. 321.

Röntgen W.: „Elektrodynamische Wirkung bewegter Dielektrica." Wied. Ann. Band XL, p. 93. — Bemerkungen hierzu von Himstedt. Wied. Ann. Band XL, p. 720.

Rowland H. A.: „Note on the theory of electric absorption." The Electrician, Sept. 7, 1878, p. 189.

Rücker und Boys: „Electrical Stress." Paper read at the Society of Telegraph-Engineers and Electricians, March 22, 1888. — The Electrician, April 6, 1888.

Silow P.: „Ueber die Dielektricitätsconstanten der Flüssigkeiten." Pogg. Ann. Band CLVI, 1875, p. 388.

Tereschin S.: „Die Dielektricitätsconstanten einiger organischer Flüssigkeiten." Wied. Ann. Band XXXVI, p. 702.

Wüllner; „Ueber den elektrischen Rückstand." Pogg. Ann. Band CLIII, 1874, p. 22.

Wüllner: „Ueber die elektrische Influenz auf nichtleitende feste Körper." Wied. Ann. Band I, 1877, p. 247, 361.



des Contactes mit dem Ausladedraht betrug ungefähr 0·004 Secunden und trotz dieser kurzen Zeit war die Entladung eine vollständige. Flaschen hingegen, welche mit Stanniol-Belegungen versehen waren, zeigten bedeutende Absorption, wahrscheinlich wegen des ungenügenden Contactes zwischen Metall und Glas. — Swinburne erzählt: Wenn eine dünne *Glimmerplatte* zwischen Stanniolblättern angewendet wird, erwärmt sie sich in rapider Weise. Die Abnahme des Potentials im Luftraume zwischen Glimmer und Stanniolblatt ist bedeutend genug, um locale Entladungen zwischen beiden hervorzurufen. Glimmer ist daher für Condensatoren nicht tauglich.[1])

**Trocken-Condensatoren.** Professor Rücker weist darauf hin, dass die Dielektrica bei elektrischer Beanspruchung ihr Volumen verändern und dass eventuell eine geringe Elasticität zu Ladungsverlusten Anlass gäbe.

Bei Versuchen, welche Maurice Leblanc anstellte, gaben Condensatoren, in welchen paraffingetränktes Papier angewendet wurde, weniger gute Resultate, als solche, bei welchen dünne Ebonitplatten zur Anwendung kamen. Celluloid gab ebenfalls gute Resultate,

---

[1]) Siehe: „On Alternate Current Condensers" by James Swinburne. Sitzung der Physical Society, London, am 12. December 1890. Aus Versuchen E. Bouty's geht hervor, dass Glimmer sich ähnlich wie Glas verhalte, welches bekanntlich auch bei höheren Temperaturen zu einem Leiter zweiter Classe wird. (Elektrotechnische Zeitschrift 1891, Heft 28, p. 378).

doch ist es wegen seiner leichten Entzündbarkeit praktisch nicht zu verwenden.[1])

Muirhead construirte gelegentlich des Meetings der „Association Britannique" in Leeds (1890) einen Luftcondensator, der aus einer Anzahl concentrischer Messingcylinder bestand, welche durch Glasstäbe auseinander gehalten wurden. (Siehe The Electrician, October 3, 1890, October 10, 1890: „On the air condensers of the British Association.")

Es mag nicht schwer sein, industrielle Trockencondensatoren für Wechselströme hoher Wechselzahl herzustellen. Die Hauptschwierigkeit ist, wie gesagt, die Isolation: das Dielektricum soll dünn sein, damit das Volumen des Condensators nicht zu gross werde. Swinburne hat Condensatoren hergestellt, in welchen das Dielektricum bloss $^2/_{10}$ Millimeter Dicke hatte und trotzdem Spannungen von 8000 Volts aushielt; doch muss in industriellen Apparaten grösserer Spielraum gelassen werden.[2])

**Oel-Condensatoren.** „Das Verhalten eines Condensators — sagt Tesla — in welchem Energie absorbirt wird, ist dasselbe, als wenn seine Capacität vergrössert würde. Eine Absorption hat mehr oder weniger immer

[1]) „De l'application des Courants alternatifs à la Transmission du Travail." Vortrag, gehalten in der Société des Électriciens, 1. Juli 1891.

[2]) Siehe auch: „Systems of alternating current distribution with the aid of condensers". By W. Camille Rechniewski. Electrical World XIX, Nr. 23. — Bemerkenswerth ist, dass Jablochkoff vor ungefähr 16 Jahren ein Patent auf eine Combination von Condensatoren mit Wechselströmen hoher Spannung nahm.



statt; sie ist aber gering und von keinem Belang, so lange die Wechselzahl nicht besonders gross ist. Bei Anwendung ausserordentlich hoher Wechselzahl — und nothwendigerweise auch hoher Potentiale — wird die Absorption (oder der durch Vorhandensein eines gasförmigen Mediums verursachte Verlust) zu einem wichtigen Factor. Wenn beispielsweise zwei Drahtstücke an je ein Spulenende angeschlossen werden und sie bedecken sich mit Glimmlicht, so findet hier eine Energieverstreuung in Form von Licht und Wärme statt, und die Drähte verhalten sich wie ein Condensator von grosser Capacität. Befänden sich die Drähte in einer Oelschicht, so würde die Energieverstreuung entweder ganz verhindert oder wenigstens bedeutend herabgemindert werden und die anscheinende Capacität würde eine geringe sein. Es scheint nun, als würde dieser Umstand es schwierig machen, aus der gemessenen oder verglichenen Capacität eines Luftcondensators seine wirkliche Capacität oder Schwingungsperiode zu bestimmen, und zwar besonders dann, wenn der Condensator von geringer Oberfläche ist und mit sehr hohen Potentialen geladen wird. Nachdem viele wichtige Resultate von der Genauigkeit der Schwingungsperioden-Bestimmung abhängen, verlangt dieser Gegenstand eine eingehende Prüfung seitens der Forscher.[1]) Um in Experimenten, wie solche hier aufgezählt werden, den wahrscheinlichen

*) Hier sind die von Dr. Hertz erhaltenen, ungemein wichtigen Resultate gemeint. Die Correctheit dieser Resultate hängt von der genauen Bestimmung der Schwingungsdauer der Condensatoren (Oscillators und Resonators) ab. Die

Fehler auf ein Minimum zu bringen, ist die Anwendung von Kugeln oder Platten grosser Oberfläche anzurathen, damit die elektrische Dichtigkeit ausserordentlich gering werde. Anderenfalls sollten, falls dies angeht, Oelcondensatoren angewendet werden. In Oel und anderen flüssigen Dielektrica finden, wie es scheint, ähnliche Verluste, wie sie im gasförmigen Medium vorkommen, nicht statt.[1]) Nachdem man aus Condensatoren mit soliden Dielektrica das Gas nicht vollständig austreiben kann, sollen Condensatoren in Oel eingesenkt werden; sie

---

Schwingungsdauer wird bekanntlich aus der Capacität des Condensators und der Selbstinduction des Stromkreises berechnet. Nun wird die Capacität von den geometrischen Dimensionen berechnet, welches unmöglich ein ganz correctes Resultat geben kann, da die Capacität des Condensators, wenn derselbe in einem lufterfüllten Raum vibrirt, Aenderungen erleidet, und einen, von dem theoretisch berechneten weit verschiedenen Werth haben mag. N. T.

Glazebrook: „Mesuring the capacity of a condenser and determining the period of a tuning fork." Phil. Mag., August 1884. The Electrician, August 9, 1884, p. 297.

Tesla: „On the dissipation of the electrical energy of the Hertz-Resonator." The Electrician, January 6, 1893. La Lumière Électrique, tome XLVII, No 2.

[1]) Die Einwirkung der Luft auf Condensatoren wird durch ein Experiment Tesla's erwiesen, in welchem, wenn dem Condensator eine Glasplatte genähert wurde, die letztere einen Ton von sich gab. Dieser Ton rührt von den rhythmischen Anstössen der Luftmolecüle gegen die Platte her. Tesla hat ebenso gefunden, dass das von W. Thomson zuerst beobachtete Ertönen von Condensatoren dem Vorhandensein von Luft in der Nähe der geladenen Flächen zuzuschreiben sei.



werden dann ausserordentlich widerstandsfähig und bleiben kühl. In einer Leydener Flasche ist der durch die Luft bewirkte Verlust verhältnissmässig gering, weil die Stanniolbelegungen grossflächig sind, nahe aneinander liegen und weil die geladenen Oberflächen nicht direct exponirt sind; bei hohen Potentialen aber kann der Verlust an der oberen Schneide des Stanniolblattes, wo die Luft einwirkt, mehr oder weniger bedeutend werden und die Schwingungsdauer erleidet eine Veränderung. Wird die Flasche in ausgekochtes Oel versenkt, so wird der Verlust unbedeutend und der Condensator erlangt eine vierfach höhere Widerstandsfähigkeit. Es erscheint als gewiss, dass die Schwingungsperiode eines geladenen Körpers in einem gasförmigen Medium verschieden ist von jener in einem continuirlichen Medium, wie z. B. Oel.

**Die Erde als Condensator.** „Das Verhalten eines gasförmigen Mediums zu rapiden Potentialwechseln führt uns auf eine besonders für die Meteorologie wichtige Frage: Wie verhält sich die Erde bei den aufgezählten Experimenten? Die Erde ist ein Luftcondensator — ist sie aber ein vollkommener oder ein unvollkommener Condensator? Es ist kein Zweifel, dass sich die Erde zu so geringen Störungen, wie sie durch ein Experiment hervorgerufen werden, als ein vollkommener Condensator verhält. Anders gestalten sich aber die Verhältnisse, wenn die Ladung der Erde durch cosmische Störungen in Vibration versetzt wird. In diesem Falle ist anzunehmen, dass bloss ein geringer Theil der Energie der hervorgerufenen Schwingungen im Raume in Form von langen Aetherwellen verloren

gehe, der grösste Theil der Energie aber sollte sich in den Collisionen und Anstössen der Molecüle verausgaben, und in Form von kurzen Wärme- (und vielleicht auch Licht-) Wellen in den Raum gelangen. Da im vorliegenden Falle wahrscheinlich sowohl die Schwingungszahl der Ladung als auch das Potential ausserordentlich gross sind, so dürfte die in Wärme umgewandelte Energie bedeutend sein. Nachdem in Folge der Unregelmässigkeit der Erdoberfläche oder wegen des atmosphärischen Zustandes an verschiedenen Orten, die elektrische Dichtigkeit ungleich vertheilt sein muss, so wird der hervorgebrachte Effect von Stelle zu Stelle variiren, und es können demzufolge an irgend einem Punkte der Erdoberfläche bedeutende Veränderungen in der Temperatur und im Druck der Atmosphäre hervorgerufen werden.

---

Dem Verfasser bekannte Literatur:

Acheson: „Einfluss der Condensatoren auf die disruptiven Entladungen." La Lumière Électrique, tome XXIX, No 29.

Adler G.: „Ueber die Capacität von Condensatoren." Wied. Ann. Band XLVI, p. 500.

Andrews: „Electrical distribution by means of condensers." The Electrician, August 2, 1889.

Aron H.: „Zur Theorie der Condensatoren." Pogg. Ann. Band CLIX, 1876, p. 587.

Arons L.: „Sur le résidu électrique." La Lumière Électrique, tome XXXI, No 6.

Bezold: „Zur Theorie des Condensators." Dissertation, Göttingen, 1860.

Boucherot: „Sur les condensateurs agissant par transformateurs d'induction et directement." La Lumière Électrique, tome LXVII, p. 152.



# Die Inductionsspulen.

**Anordnung der Inductionsspulen.** „Bedient man sich — sagt Tesla weiter — bei seinen Experimenten einer Inductionsspule, wie sie gewöhnlich im Handel vorkommt, so kann man z. B. Lichtbüschel nur mit grossen

---

Bouty M. E.: „Sur les condensateurs en mica." Comptes rendus, 21. April 1890, p. 846. — „Sur le résidu des condensateurs." Sitzung der Société Française de Physique, 18. Juli 1890. The Electrician, August 15, 1890. La Lumière Électrique, tome XXXVII, p. 95. Comptes rendus, tome CX, p. 1362.

Cantone M.: „Ricerche intorno alle deformazioni dei condensatori." Atti della Reale Accademia dei Lincei, 1888, Volume IV, p. 344, 471.

Courtot und Lagrange: „Expériences relatives aux phénomènes produits dans les conducteurs par le passage de décharge des condensateurs." La Lumière Électrique, tome XXXIII, No 38.

Doubrava: „On the distribution of electric currents by means of condensers." The Electrician, April 19, 1889, July 26, 1889, Sept. 13, 1889. La Lumière Électrique, XXXIII, p. 284.

Duncan: „Modern Conceptions of Electricity." Lecture delivered before the Franklin Institute. The Electrician, August 22, 1890. — Electrician: „The use of condensers with the electric light." Hinweis auf die Arbeiten Jablochkoff's. The Electrician, September 21, 1878, p. 209. — „The sparking of condensers." Hinweis auf die Experimente Villari's. The Electrician, July 30, 1881, p. 169.

Ewing und Carhart: „Entladung von Leydener Flaschen." Western Electrician, Vol. IV, p. 19. The Electrician 1888. La Lumière Électrique No 7, 1889.

Fleming: „The Function of the condenser in an induction coil." The Electrician, May 31, 1889, June 7, 1889, June 14, 1889. La Lumière Électrique, tome XXXII, p. 489.

Gaugain: „Mémoire sur la théorie des condensateurs." Annales de Physique et Chimie, tome IV, 1865, p. 214.

Schwierigkeiten erzeugen, weil die Isolirung der Spule der enormen Potentialdifferenz und Wechselzahl nicht Stand hält. Gewöhnlich ist die Spule insoweit genügend isolirt, damit eine Drahtlage auf die andere ohne

---

Himstedt J.: „Capacität eines Schutzringcondensators." Wied. Ann. Band XXXVI, p. 759.

Knochenhauer: „Versuche zur Theorie der Leydener Flasche." Pogg. Ann. Band CXXXVIII, 1869, p. 11, 214.

Lehmann: „Condensatoren mit Glaslamellen." La Lumière Électrique, tome XXVII, No 1.

Lodge: „Die Entladung der Leydener Flasche." Vorlesung in der Royal Institution, 8. März 1889. La Lumière Électrique, tome XXXII, p. 85. — „Note on the bursting of Leyden jars." The Electrician, March 29, 1889. April 5, 1889.

Péclet: „Mémoire sur un nouveau Condensateur électrique." Annales de Chimie et Physique, tome LXVIII, 1838, p. 442, tome LXXI, 1839, p. 80, tome II, 1841, p. 100. — „Mémoire sur le développement de l'électricité statique pendant le contact des corps." Ann. de Chim. et Phys., tome II, 1841, p. 233.

Perry and Ayrton: „A preliminary account of the reduction of observations on strained material, Leyden jars and Voltameters." The Electrician, 1880, Volume V, pp. 40, 76, 88, 100, 112.

Riess: „Mémoire sur l'Electrisation par influence et la Théorie du condensateur." Annales de Chimie et de Phys., tome XLII, 1854, p. 376 — „Ueber die Ladung des Condensators durch die Nebenströme der Leydener Batterie." Pogg. Ann. Band CXXVI, 1865, p. 573. — „Die Bestimmung der Entladungsdauer der Leydener Batterie." Pogg. Ann. Band CXLIX, 1873, p. 474.

Siemens W.: „Ueber Erwärmung der Glaswand der Leydener Flasche durch die Ladung." Monatsber. der Berliner Akademie. 1864, Oct. — Pogg. Ann. Band CXXV, 1865, p. 137.

Sumpner W. E.: „Some Peculiarities of alternate currents." Presidential Address to the City Guilds Old Students Association, November 18, 1889. The Electrician, November 22, 1886, p. 62.



Einfluss bleibe: die Hauptschwierigkeit liegt aber in der Verhütung des Durchschlagens von der Secundär- zur Primärspule, welche Möglichkeit durch die von der Primärspule ausgehenden Lichtbüschel sehr befördert wird. In der Spule ist natürlich die Spannung zwischen Abtheilung zu Abtheilung am grössten, doch giebt es in einer grossen Spule so viele Abtheilungen, dass die Gefahr eines plötzlichen Durchschlagens nicht bedeutend ist. In dieser Beziehung wird man also auf keine besonderen Schwierigkeiten stossen, und da eine eventuelle Beschädigung wahrscheinlicherweise bloss durch Erwärmung zu fürchten ist (welch letztere übrigens graduell auftritt), so wird man dieselbe leicht bemerken und entsprechende Vorkehrungen dagegen treffen können. Wofür aber hauptsächlich vorgesorgt werden muss, das ist die Verhinderung des Auftretens von Ausströmungen zwischen der Primärspule und dem Spulenrohre, und zwar nicht bloss wegen der wahrscheinlichen Erwärmung oder Beschädigung, sondern auch deshalb, weil die Ausströmungen die zwischen den Spulenenden herrschende Potentialdifferenz in bedeutendem Maasse verringern können. Hier folgend einige Andeutungen, wie dies bei Anwendung gewöhnlicher Inductionsspulen verhindert werden kann.

**Verhinderung der Lichtausströmungen.** „Eines der zum besprochenen Zwecke angewandten Verfahren besteht darin, eine kurze Primärspule (Fig. 26) zu winden, so dass die Potentialdifferenz für diese Drahtlänge nicht so

---

Swinburne: „The probable future of condensers in electric lighting." The Electrician, January 1, 1892. Industries, Dec. 1891. La Lumière Electrique, tome XLIII, p. 373.

gross werden kann, als dass die Ausströmungen durch die isolirende Röhre hindurch schlagen könnte. Die Länge der Primärwickelung soll früher durch Versuche

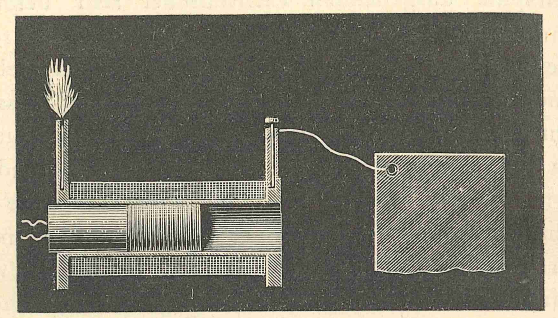


Fig. 26. Spule für mächtige Büschelentladungen.

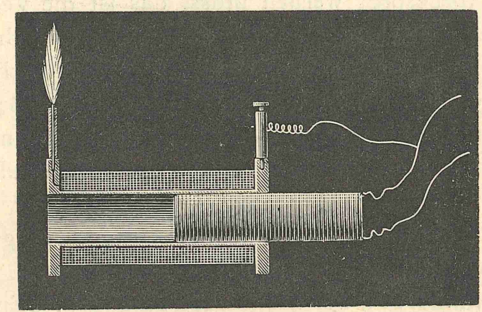


Fig. 27. Spule für mächtige Büschelentladungen. — Heisses Elmsfeuer.

bestimmt werden. Beide Spulenenden sollten an einer und derselben Seite, durch einen in die Röhre passenden Isolircylinder hindurch, aus der Spule austreten. Bei einer derartigen Anordnung wird das eine Spulenende an einen Körper, dessen Oberfläche mit grösster



Sorgfalt bestimmt wird, angeschlossen um die grösstmöglichste Erhöhung der Potentialdifferenz hervorbringen zu können. Am anderen Ende erscheint das Lichtbüschel, mit welchem die Versuche angestellt werden.

„Bei dem vorstehenden Verfahren kann nur eine Primärspule von verhältnissmässig geringen Dimensionen in Anwendung kommen, und erwärmt sich dieselbe leicht, wenn grössere Lichteffecte auf längere Zeit verlangt werden. In letzterem Falle ist es vortheilhafter, eine grössere Primärspule anzuwenden (Fig. 27) und dieselbe langsam in das Innere der Secundärwickelung einzuführen, bis sich endlich die Ausströmungen zu zeigen beginnen. Es wird hierauf die zunächst liegende Klemme der Secundärspule mit der Primärspule oder mit der Erde verbunden. Wenn Erdanschlüsse gewählt werden, möge man früher durch Versuche die Wechselzahl bestimmen, welche unter den gegebenen Verhältnissen am Besten entspricht.

Ein anderes Verfahren, die Ausströmungen mehr oder weniger zu verhindern, besteht darin, die Primärspule in Sectionen einzutheilen und jede derselben von einer getrennten, gut isolirten Elektricitätsquelle zu speisen.

**Anwendung von Eisenkernen.** „Bei vielen Experimenten, wenn mächtige Lichteffecte für kurze Zeit erzielt werden sollen, ist es vortheilhaft, in Verbindung mit der Primärspule Eisenkerne anzuwenden. Man kann eine sehr grosse Primärspule wickeln und dieselbe seitlich an die Secundärspule, in der Achse derselben, anstossen. Man verbindet die beiden sich nahe liegenden

Enden der Secundär- und Primärspule und führt durch das Rohr der Primärspule einen aus Lamellen bestehenden Eisenkern in die Secundärspule so tief ein, als dies eben die Ausströmungen gestatten. Unter diesen Bedingungen entwickelt sich am anderen freien Ende der Secundärspule ein ausserordentlich mächtiges, mehrere Zoll langes Lichtbüschel, welches wir „Heisses Elmsfeuer" nennen mögen. Dasselbe ist ein kräftiger Ozonerzeuger, und es genügen einige Minuten, um ein Zimmer mit einem starken Ozongeruch zu erfüllen.[1])

„Bei diesen Experimenten muss der Eisenkern der Spule sorgfältig überwacht werden, weil er sich leicht, und zwar in unglaublich kurzer Zeit, erhitzen kann. Um von der Rapidität dieser Erhitzung eine Vorstellung zu geben, mag erwähnt werden, dass, wenn man durch eine Spule von vielen Wickelungen einen kräftigen Strom schickt und in das Innere der Spule einen dünnen Eisendraht einführt, es kaum einer Secunde bedarf, um den Draht bis auf 100 Grad Celsius zu erhitzen.

Diese rapide Erhitzung darf uns nicht von dem Gebrauche von Eisenkernen bei Anwendung von Strömen hoher Wechselzahl abschrecken. Tesla ist schon vor geraumer Zeit zur Ueberzeugung gelangt, dass diese Erwärmung beispielsweise zur Erhöhung des Nutzeffectes von Transformatoren zur praktischen Anwendung kommen könnte. Man kann einen verhältnissmässig kleinen Eisenkern, welcher als ganzes Stück bleiben oder auch in

[1]) Bichat und Guntz: „Étude sur la production de l'Ozone par les décharges électriques." Annales de Chimie et de Physique, tome XIX, p. 131.



mehrere Stücke aufgetheilt werden kann, mit einer ziemlich dicken Schicht feuerbeständigen und Wärme schlecht leitenden Materiales umgeben und um diese Schicht die Primär- und Secundärspule wickeln. Bei Anwendung von höherer Wechselzahl oder bedeutenderer magnetischer Kräfte, mögen wir durch Hysteresis und Wirbelströme den Eisenkern bis zum Maximum seiner Permeabilität erhitzen, welche nach Hopkinson sechzehnfach grösser sein kann als jene bei gewöhnlichen Temperaturen. Könnte die Umhüllung des Eisenkernes eine derartige sein, dass sie durch die Hitze nicht beschädigt würde, und könnte sie genügend dick gemacht werden, so müsste trotz der hohen Temperatur nur ein geringer Theil von Energie durch Ausstrahlung verloren gehen.

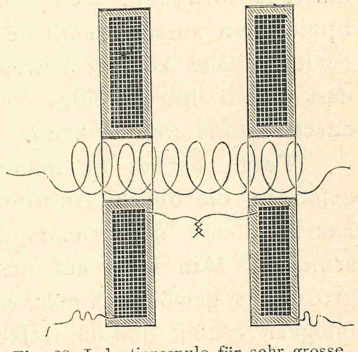


Fig. 28. Inductionsspule für sehr grosse Potentialdifferenz.

**Besondere Arten von Inductionsspulen.** Die soeben beschriebenen Verfahren beziehen sich bloss auf Inductionsspulen gewöhnlichen Systems. Will man die von Tesla angegebenen Experimente wiederholen und hierbei eine eigens für diesen Zweck construirte, hohen Potentialdifferenzen widerstehende Spule anwenden, so empfiehlt sich die in Fig. 28 veranschaulichte Anordnung. Die Spule besteht aus zwei unabhängigen Theilen, welche in entgegengesetzter Richtung zueinander bewickelt

sind. Die elektrische Verbindung zwischen beiden Theilen wird nahe zur Primärspule hergestellt. Die Potentialdifferenz in der Mitte des Apparates ist gleich Null; es existirt daher an dieser Stelle kein Drang, auf die primäre Spule durchzuschlagen, und muss daher die Isolation nicht eine ausserordentlich sorgfältige sein. In manchen Fällen kann die mittlere Verbindungsstelle mit der Primärspule oder mit der Erde verbunden werden. In einer solchen Spule sind die Stellen, welche die grösste Potentialdifferenz aufweisen, weit voneinander entfernt und die Spule kann ausserordentliche Spannung aushalten. Die beiden Theile können beweglich gemacht werden, so dass durch ihre jeweilige Verschiebung der Capacitätseffect regulirt werden kann.

Tesla hat es in manchen Fällen für gerathen gefunden, die übliche Anordnung der Wickelungen umzukehren und die Primärspule über die secundäre zu schleifen. Man kann auf diese Weise die Primärspule grösser als gewöhnlich machen, wodurch ihre Leistungsfähigkeit erhöht und die Gefahr einer Ueberhitzung vermindert wird. Die Primärspule wird an jedem Ende um einige Centimeter kürzer gemacht als die secundäre, und so ein Durchschlagen an den Enden verhütet. Wenn die Primärspule beweglich zu sein hat, bedeckt Tesla die Secundärspule mit einer Wachsschicht, welche säuberlich abgedreht wird. Die Primärspule wird mit einer Handhabe versehen.

**Die Isolirung der Spule.** Für die Isolirung der Spule schlug Tesla anfänglich folgendes Verfahren vor: Der Wickelungsdraht soll in Paraffin so lange gekocht werden, bis nicht alle Luft aus ihm ausgetrieben ist. Bei



Bewickelung der Spule läuft der Draht in geschmolzenem Paraffin, so dass eine Spirale an der anderen kleben bleibt. Die fertige Spule wird vom Dorn abgenommen, in reines geschmolzenes Wachs getaucht und in demselben geraume Zeit belassen, bis man keine Luftbläschen mehr aufsteigen sieht. Wenn alles erkaltet ist, wird das Ganze auf eine Drehbank gebracht und auf die richtigen Dimensionen abgedreht. Eine auf diese Weise hergestellte Spule kann enorme Potentialdifferenzen aushalten; es scheint jedoch, dass die Dicke der Wachsschicht von Nachtheil für die Spule ist.

„Wenn die Inductionsspulen durch Condensator-Entladungen erregt werden, können die auftretenden Funken so zahlreich werden, dass die ganze Spule, selbst wenn sie ausserordentlich gut isolirt ist, wie in Feuer gehüllt erscheint. Nachdem die Funken die Isolation zerstören, muss ihr Auftreten verhindert werden. Dies geschieht am besten durch Eintauchen der Spule in einen flüssigen Isolator, am besten in ausgekochtes Oel. Das Eintauchen in eine isolirende Flüssigkeit wird als eine absolute Nothwendigkeit erscheinen, wenn man die Spule bei beständigem Gebrauch in gutem Zustande erhalten will.[1])

Anlässlich seiner Londoner Experimente beschrieb Tesla die in Anwendung gekommene Inductionsspule

---

[1]) Tesla hat anfänglich zur Bewickelung der in Oel getauchten Spulen Drähte verwendet, welche mit Seide und Baumwolle isolirt waren. Später aber wurde er dahin gebracht, mit Guttapercha isolirte Drähte anzuwenden. Guttapercha erhöht zwar die Capacität der Spule, und dies ist, wenn hohe Wechselzahl gewünscht wird, besonders bei grossen Spulen, von grossem Nachtheil, andererseits

in folgender Weise: Die Spule befindet sich in einem mit Oel gefüllten Kasten *B* (Fig. 29), dessen Wände aus dickem harten Holz hergestellt sind. Dieselben sind an ihrer äusseren Oberfläche mit Zinkblechen *Z* belegt, welche sorgfältig miteinander verlöthet sind. Es mag bei streng wissenschaftlichen Versuchen, welche grosse Genauigkeit erfordern, gerathen sein, die Metallbekleidung fortzulassen, da sie wegen ihrer Condensatorwirkung leicht zu Irrungen Anlass geben kann. Für gewöhnliche Schauexperimente kann sie jedoch ihrer praktischen Vortheile wegen belassen werden.

Die Spule soll symmetrisch zu den Metallbekleidungen angebracht werden und der zwischen beiden bestehende Raum soll nicht zu klein, keineswegs aber weniger als 5 Centimeter sein. Besonders an den zwei Kastenseiten, welche sich im rechten Winkel zur Spulenachse befinden, soll die Zinkbekleidung ziemlich weit entfernt von der Spule sein, weil sie sonst auf die letztere einwirkt und Verluste herbeiführt.

---

aber widersteht Guttapercha besser als eine ebenso dicke Oelschicht, und diesen Vorzug sollte man sich auf jeden Fall sichern. Wenn die Spule einmal in Oel eingetaucht ist, soll sie nie für längere Zeit, als für einige Stunden, herausgenommen werden, weil ansonsten die Guttapercha rissig wird und die Spule hierdurch an Werth verliert. Oel greift das Guttapercha wahrscheinlich langsam an, aber in kaum merklicher Weise. — Tesla hat im Handel zwei Drahtgattungen vorgefunden: eine, bei welcher die Isolation an dem Metalle anklebt, und eine andere, in welcher dies nicht der Fall ist. So lange man keine besonderen Mittel zur Verfügung hat, die Luft aus den Drähten auszutreiben, soll man die erstere Gattung anwenden.



Die Spule besteht aus zwei Hartgummikästen *RR*, welche durch Schraubenbolzen *c* und -Muttern, ebenfalls aus Hartgummi, auf 10 Centimeter Distanz voneinander gehalten werden. Jeder Kasten hat einen hohlen Raum 7 von 8 Centimeter innerem Durchmesser zur Aufnahme der Secundärwickelung *S*. Diese letztere, aus best isolirtem Draht, besteht aus 26 Drahtlagen von je 10 Windungen, im Ganzen also 260 Windungen. Die beiden Hälften der Secundärwickelung sind verkehrt zueinander gewunden und miteinander auf Spannung verbunden, und zwar geschieht ihre Verbindung oberhalb der Primärwickelung. Diese Anordnung hat ausserdem, dass sie praktisch ist, noch den Vortheil,

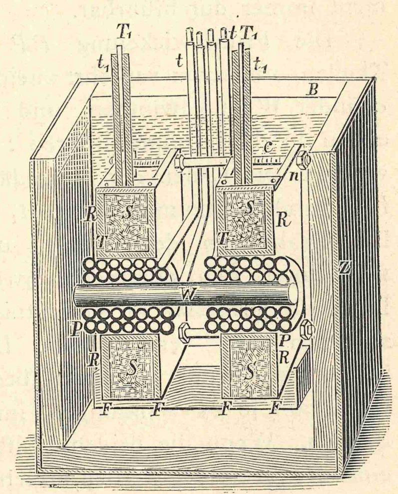


Fig. 29. Inductionsspule für Ströme hoher Wechselzahl.

dass, wenn die Spule gut ausgeglichen ist — d. h. wenn beide Drahtenden $T_1$ $T_1$ mit Körpern von gleicher Capacität verbunden sind — wenig Durchschlagsgefahr in der Primärwickelung vorhanden ist und dass die Isolation zwischen der Primär- und Secundärwickelung nicht zu dick auszufallen braucht. Bei Benutzung der Inductionspule ist anzurathen, an beide Drahtenden

Apparate oder Körper von annähernd gleicher Capacität anzuschliessen, weil sonst, wenn die Capacität der Drahtenden nicht die gleiche wäre, Funken nach der Primärwickelung durchschlagen können. Um dies zu verhindern, mag man den Mitteltheil der Secundärwickelung mit der primären verbinden; doch ist dies nicht immer durchführbar.

Die Primärwickelung *PP* ist ebenfalls in zwei Theilen, und zwar verkehrt zueinander, auf einem Holzcylinder *W* aufgewunden, und werden die vier Drahtenden durch Hartgummiröhren *tt* aus der Spule hinausgeführt. Die Enden der Secundärwickelung gehen ebenfalls durch Hartgummiröhren $tt_1$ von bedeutender Dicke. Die Drahtlagen der Primär- und Secundärwickelung sind unter sich durch Baumwollwebe isolirt, dessen Dicke einigermassen im Verhältniss zur Potentialdifferenz zwischen den verschiedenen Drahtlagen steht. Jede Hälfte der Primärwickelung besteht aus vier Drahtlagen von je 24 Windungen, im Ganzen also 96 Windungen. Wenn die beiden Hälften auf Spannung miteinander verbunden werden, ergiebt sich ein Umwandlungsverhältniss von 1 : 2·7; sind sie parallel geschalten, ergiebt sich das Verhältniss 1 : 5·4. Werden aber Ströme von rapider Wechselzahl angewandt, so kann dieses Verhältniss kaum eine annähernde Idee von dem Verhältniss der E. M. F. in der Secundär- und Primärwickelung geben.

Die Spule ruht auf Holzunterlagen und ist mit einer Oelschicht von 5 Centimeter Dicke umgeben. Wo das Oel als Isolator nicht nothwendig ist, wird der



Raum mit Holzstücken angefüllt, und kommt auch hauptsächlich dieser wegen der das Ganze umgebende Holzkasten *B* in Verwendung.

*Anmerkung*. M. Jean, ein Amateur in Mechanik, hat, wie Du Moncel erzählt, im Jahre 1854 eine Inductionsspule construirt, welche ganz in Terpentinöl eingetaucht war. Die Enden der secundären Spulen, welche allein aus der Flüssigkeit hervorragten, befanden sich in Glasröhren. Bevor man die Spule in den Oelbehälter einführte, wurde sie getrocknet. Diese Operation wurde von Jean im Vacuum ausgeführt.[1] Seine Versuche sind in den Comptes Rendus, Vol. XLVI., p. 186, vom Jahre 1858 angeführt. Die Verwendung flüssigen Oeles als Isolator wurde schon früher von Poggendorf vor-

---

[1] Tesla schlägt für die Construction kleiner Spulen folgende Anordnung vor: Man fertige einen Holzkasten mit sehr dicken Wänden an, die lange Zeit hindurch in Oel gekocht worden waren. Die Wände werden so genau zusammengefügt, dass sie dem äusseren Luftdruck widerstehen. Die Spule wird in den Kasten eingeführt und befestigt, worauf derselbe mit einem starken Deckel geschlossen wird. Der ganze Kasten wird hierauf mit Metallblechen belegt, welche sorgfältig miteinander verlöthet sind. In den Deckel werden zwei kleine Löcher gebohrt und in dieselben je eine Glasröhre eingeführt. Eine derselben steht mit einer Luftpumpe in Verbindung, die andere führt an ein mit ausgekochtem Oel gefülltes Gefäss, welches durch einen Hahn abgeschlossen ist. Sobald ein gewisses Vacuum erreicht ist, wird der Hahn geöffnet und das Oel eingelassen. Wenn auf diese Weise vorgegangen wird, ist es unmöglich, dass zwischen den Drahtwindungen grössere Blasen verbleiben, welche die hauptsächlichste Gefahr bilden. Die Luft ist zum grössten Theil entwichen und wahrscheinlich in vollständigerer Weise, als dies durch Auskochen erreicht werden könnte, welch letzteres übrigens bei Guttaperchadrähten nicht angewendet werden kann.

geschlagen.[1]) In neuerer Zeit wurden auch Patente auf die Eintauchung von Transformatoren in Oel genommen.

**Das Oel als Isolator.** Wir werden später auf die büschelartigen Lichterscheinungen zu sprechen kommen, welche von Strömen hoher Wechselzahl hervorgerufen werden. Dieselben sind, als Experiment gedacht, ganz interessant, werden aber in einer Inductionsspule, in einem Transformator oder in einem Condensator zu einer Gefährdung der Isolation. „Die gasförmige Materie muss — sagt Tesla — besonders aus einem Condensator sorgfältig ausgetrieben werden, weil sich in demselben die geladenen Flächen nahe zueinander befinden, und schon das Vorhandensein eines einzigen Gasbläschens genügt, um die Isolation zu verschlechtern.[2]) Die Isolation

[1]) Poggendorff: „Zur Kenntniss der Inductionsapparate und deren Wirkungen." Pogg. Ann. Band XCIV, 1855, p. 289. — Philosophical Magazine, July 1855.

Börnstein R.: „Zur Theorie von Ruhmkorff's Inductionsapparat." Pogg. Ann. Band CXLVII, 1872, p. 481.

Fleming: „The Historical Development of the induction coil and transformer." The Electrician, Volume XXVII, 1891, p. 211, 246, 300, 359, 433.

Colley: „Theorie der Ruhmkorff-Spule." Journal de la Société Phisico-Chimique Russe XXIII, p. 7. Wied. Ann. XLIV, 1891, p. 109. Lumière Électrique, No 14, 1891. The Electrician, Dec. 25, 1891.

[2]) Wenn zwei, mit je einem Spulenende leitend verbundene Metallplatten auf eine gewisse Entfernung voneinander in Oel eingeführt werden, so wird, wie lange die Spule auch in Thätigkeit sein mag, zwischen beiden Platten kein Durchschlag stattfinden. Führt man jedoch in das Oel Luftbläschen ein, so werden dieselben leuchtend, erwärmen das Oel und es findet endlich ein Durchschlag statt. Würde zwischen die Metallplatten anstatt des Oeles eine dicke Platte aus dem besten Dielektricum eingeführt, so dass die Luft freien Zutritt zu den geladenen Flächen hätte, so würde das Dielektricum unbedingt erwärmt und von einer Entladung durchschlagen werden.



eines Leiters für Wechselströme sehr hoher Spannung kann, wenn sie eine kleine, Luft oder Gas enthaltende Höhlung aufweist, im Allgemeinen beschädigt werden, und nachdem es unmöglich ist, derlei Höhlungen ganz zu vermeiden, muss behufs Luftabschlusses eine flüssige Isolation angewendet werden. Diese Nothwendigkeit wird, wenn man an die praktische Verwirklichung der Vertheilung von Strömen hoher Wechselzahl gehen wollte, zu einem grossen Hinderniss, denn die Kosten einer in Oel gebetteten Leitung müssen sehr hohe sein. Andererseits wieder mag erwogen werden, dass man mit einer solchen Isolirung Spannungen von 100,000 Volts ungefährdet auf grosse Entfernungen übertragen und hierbei den Querschnitt des Leiters als ein Minimum betrachten kann.[1])

[1]) „Die Construction von Transformatoren, Condensatoren und Voltmeter für so hohe Spannungen würde ohne Oelisolation schwerlich möglich sein. Es wurde gefunden, dass in Flüssigkeiten die in Folge von Absorptionsströmen auftretende Erwärmung geringer ist als in festen Körpern. Man hat eine Verausgabung von $^1/_4$ Watt per Kubikzoll Oel beobachtet. Es giebt wenig Auswahl unter den verschiedenen Oelgattungen: — jene, welche eine hohe Inductionscapacität haben, scheinen am meisten zu wärmen. Wenn man in einem Oel enthaltenden Gefässe die eine Elektrode auf dem Boden des Gefässes und die andere gerade oberhalb des Flüssigkeitsniveaus anbrachte, wurde das Oel unterhalb der letzterwähnten (aus einem Draht bestehenden) Elektrode heftig abgestossen, so dass sich im Niveau eine $^3/_4$ Zoll messende Vertiefung bildete.

*Anmerkung.* Professor Elihu Thomson, welcher sich viel mit Strömen hoher Spannung befasst, und mit einem seiner Apparate Funken von 31 Zoll Länge erzielt hat,[1] weist ebenfalls auf das ausserordentliche Verhalten des Oeles als Isolator hin. Es scheint, dass zur Durchschlagung einer 2 Zoll hohen Oelschicht zwischen zwei abgerundeten Leitern von $1/2$ Zoll Durchmesser, eine Potentialhöhe erforderlich ist, welche zur Ueberbrückung einer Luft-Funkenstrecke von 5 Fuss Länge noch hinreichend wäre. — Ebenso äussert sich Prof. D. E. Hughes, welcher schon im Jahre 1858 Versuche mit Oel als Isolator anstellte. Er fand, dass der Funke einer Leydener Flasche, welcher mit Leichtigkeit in der Luft eine Strecke von 4 Fuss durchschlug, nicht fähig war, eine ein 19tel Zoll hohe Terpentinölschicht zu durchschlagen, was erweisen würde, dass Terpentinöl einen 79fach grösseren Isolationswiderstand hat als trockene Luft. (Vorlesung in der Institution of Electrical Engineers, London). — Tesla hat im Verhalten der verschiedenen Oele als Isolator keinen bemerkenswerthen Unterschied gefunden und wendet bald Leinöl, bald Paraffinöl an. — Merkwürdig ist, dass Williams (James Bowstead) in jüngster Zeit über die Isolationsfähigkeit von Terpentin-, Paraffin-, Lein-, Castor- und Baumwollsamenöl eingehende Versuche anstellte, auf Grund welcher er zur Schlussfolgerung gelangte, dass trockene Luft eine bessere Isolationsfähigkeit habe als Oel und Paraffin. Diese Behauptung bezieht sich jedoch nur auf Anwendung hochgespannter gleichgerichteter Ströme; mit Wechselströmen hat der Genannte nicht experimentirt. (Siehe: „Oil versus air as an insulating medium". The Electrical World, Vol. XX, Nr. 22, 23, 24.)

(Tesla schreibt dieses Phänomen der Einwirkung der Luftmolecüle, welche von dem Ende der Elektrode abgestossen werden, zu.) Das Trocknen des Oeles durch Sodium, Phosphorsäure u. s. w. hat sich von wenig Erfolg gezeigt. Die Durchschlags- oder Funkenstrecke wird durch das Vorhandensein von Staub oder anderer Unreinigkeiten im Oel bedeutend vermindert." (Vorlesung Fox Bourne's in der Old Students Association, März 1892). Siehe auch Macfarlane: „The electric discharge trough Colza-oil.' A paper read at the British Association. The Electrician, September 17, 1881, p. 286.

[1] „The Electrical World", Vol. XIX, Nr. 14, p. 226.



„Eine besondere Eigenthümlichkeit des Oeles und der flüssigen Isolatoren im Allgemeinen ist, sagt Tesla weiter, dass sie, wenn sie rapid wechselnden elektrischen Einwirkungen ausgesetzt sind, die vorhandenen Gasbläschen zerstreuen und dieselben in ihrer Masse auflösen, bevor noch ein Durchschlagen stattfinden kann. Diese Eigenthümlichkeit kann bei einer gewöhnlichen Inductionsspule leicht wahrgenommen werden, wenn man die Primärspule herausnimmt, das eine Ende der Röhre, auf welcher die Secundärspule aufgewunden ist, verschliesst, und die Röhre mit einem durchsichtigen Oel anfüllt. Man führt eine kleinere Primärspule als die ursprüngliche in das Oel ein, so dass zwischen beiden Wickelungen ein Zwischenraum von einigen Millimetern bleibt. Man wird, sobald die Spule erregt wird, wahrnehmen, dass sich im Oel zahlreiche leuchtende Punkte befinden. Es sind das Luftbläschen, welche durch die Einführung der Primärspule ins Oel gelangten und welche durch das heftige Anprallen der Molecüle leuchtend geworden sind.

„Die eingeschlossene Luft — erklärt Tesla — erhitzt das Oel in Folge der Anstösse der Luftmolecüle gegen dasselbe, das Oel beginnt sich in Bewegung zu setzen, reisst die Luftbläschen mit sich fort, zerstreut sie, bis sie endlich, und mit ihnen die leuchtenden Punkte, verschwinden. Bestände die Isolation aus einem festen Körper, so würde ein Durchschlagen derselben ganz sicher stattgefunden haben.

„Der Ausschluss gasförmiger Materie ist in allen Apparaten, in welchen auf das Dielektricum rapid wechselnde elektrische Kräfte mehr oder weniger einwirken, nicht nur allein wegen Sicherung der Isolation, sondern auch aus ökonomischen Rücksichten wünschenswerth. In einem Condensator kann der Kraftverlust gering sein, so lange das Dielektricum sich in festem oder flüssigem Zustande befindet; ist aber als solches bloss Gas vorhanden, kann der Verlust sehr gross werden. Welcher Natur nun auch die auf das Dielektricum einwirkenden Kräfte sein mögen — eines scheint sicher zu sein: nämlich, dass in einem festen oder flüssigen Körper die durch diese Kräfte bewirkten molecularen Verschiebungen unbedeutend sind, so lange diese Kräfte nicht ausserordentlich gross sind; im Gase aber ist diese Verschiebung eine bedeutende, die Molecüle erlangen grosse Geschwindigkeiten und durch ihren Anprall geht Energie als Wärme oder auf anderem Wege verloren. Befindet sich das Gas unter hohem Druck, so werden die Verluste geringer, da die Verschiebungen kleiner sind.

**Die Manipulation der Inductionsspulen.** Von Interesse sind auch die allgemeinen Bemerkungen, welche



Tesla über die Manipulation der Inductionsspulen macht: „Gewöhnlich besitzt die Secundärspule eine so grosse Selbstinduction, dass der in ihr auftretende Strom kaum bemerkenswerth ist, selbst wenn die Spulenenden durch einen Leiter von geringem Widerstande kurzgeschlossen sind. Wird aber die Capacität an den Spulenenden vermehrt, so wird dadurch der Selbstinduction entgegengewirkt, und es gehen starke Ströme durch die Secundärspule, selbst wenn die Enden derselben voneinander isolirt sind. Dies mag einem mit dem Gehaben von Wechselströmen nicht Vertrauten sonderbar erscheinen. Doch weisen wir auf das später beschriebene Experiment (S. 144) hin. Wenn die zwei Metallsiebe nahe zueinander waren, so verhütete die als Funke auftretende Entladung die Entstehung eines starken Stromes in der Secundärspule, indem der Funke die Capacität an den Spulenenden verminderte. Wurde aber die Hartgummiplatte zwischen die Siebe gebracht, so wirkte die Capacität des auf solche Weise gebildeten Condensators der Selbstinduction der Secundärspule entgegen: es entstand ein stärkerer Strom, und die Entladung wurde eine weitaus kräftigere.

Was man daher bei der Manipulation einer Inductionsspule in erster Linie zu thun hat, ist mit der Secundärspule Capacität zu verbinden, um der Selbstinduction entgegenzuwirken. Wenn die Wechselzahl und die Potentiale sehr hohe sind, soll jede gasförmige Materie sorgfältig von den geladenen Flächen ferne gehalten werden. Wenn Leydener Flaschen angewendet werden, soll man sie in Oel tauchen, weil ansonsten

Verluste stattfinden. Wenn hohe Wechselzahl angewendet wird, ist es von Wichtigkeit, die Primärspule ebenfalls mit einem Condensator in Verbindung zu bringen. Man kann einen Condensator mit den Enden der Primärspule oder mit den Klemmen der Wechselstrommaschine verbinden, doch ist letzteres wegen leicht möglicher Beschädigung der Maschine nicht anzurathen. Am besten ist es, den Condensator mit der Primärspule und mit der Maschine auf Spannung zu schalten, und seine Capacität derart anzuordnen, dass hierdurch die Selbstinduction in Spule und Maschine aufgehoben wird. Der Condensator soll in kleine Abtheilungen getrennt sein und ein kleiner Condensator mit verstellbaren Platten kann für feinere Regulirung dienen.

---

## Lichterscheinungen in freier Luft.

**Entladungs-Erscheinungen oder Formen der Entladung.** Wenn eine Inductionsspule mit Strömen hoher Wechselzahl erregt wird, sind unter jenen Lichterscheinungen, welche mittelst dieser Anordnung erzielt werden können, vorerst jene anzuführen, welche bei den Entladungen der Spule auftreten.

**Der fadenartige Lichtbogen.** „Zuerst kann man eine schwache empfindliche Entladung in Form eines dünnen, schwach gefärbten Fadens wahrnehmen. (Fig. 30.) Sie



tritt auf, wenn bei hoher Wechselzahl die Stromstärke im Primärkreise gering ist. In Folge der sehr hohen Wechselzahl ist die Potentialdifferenz an den Drahtenden des Secundärkreises eine bedeutende, so dass sich der Lichtbogen selbst auf grosse Funkenstrecken einstellt. Die Quantität der „Elektricität", welche hierbei aufgewendet wird, ist unbedeutend; kaum genügend, um einen dünnen, fadengleichen Bogen hervorzubringen. Der letztere ist ausserordentlich empfindlich und kann auf eine solche Weise hergestellt werden, dass er schon durch neben der Spule gethane Athemzüge angegriffen wird. So lange er nicht vollkommen gegen Luftzug geschützt wird, flackert er fortwährend. Der Lichtbogen ist jedoch in dieser Form ausserordentlich hartnäckig und kann, wenn die Spulenenden einander auf ein Drittel Funkenstrecke genähert werden, schwer ausgeblasen werden. Die Ursache dieser ausserordentlichen Hartnäckigkeit des Lichtbogens, wenn er kurz ist, mag in der Dünne desselben gesucht werden, welche dem Blasen wenig Oberfläche darbietet. Seine grosse Empfindlichkeit, wenn er lang ist, mag aus der Bewegung der in der Luft befindlichen Staubtheilchen erklärt werden.

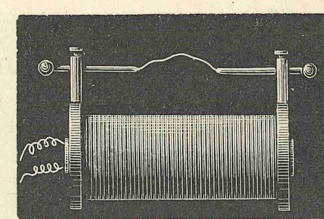


Fig. 30. Der empfindliche Lichtfaden.

**Der flammenartige Lichtbogen.** „Erhöht man die Stromstärke im Primärkreise, so wird der Lichtbogen breiter und stärker, bis er endlich, unter gewissen Bedingungen, zu einem Flammenbogen wird, der in Finger-

dicke von einem Spulenende zum anderen geht. (Siehe Fig. 31.) Er entwickelt bemerkenswerthe Hitze und lässt nicht jenen Ton hören, welcher gewöhnlich minder kräftige Funkenerscheinungen begleitet. Es wäre nicht anzurathen, sich unter diesen Bedingungen einem von der Spule ausgehenden Schlage auszusetzen, obwohl unter anderen Bedingungen, selbst bei höherem Potentiale, ein Schlag von derselben Spule ohneweiters ertragen werden kann.[1]) Um die eben beschriebene Flammenerscheinung hervorzurufen, darf die Wechselzahl pro Secunde nicht zu gross sein, und es muss, im Allgemeinen gesprochen, ein gewisses Verhältniss zwischen Capacität, Selbstinduction und Wechselzahl hergestellt werden.

Fig. 31. Flammenentladung.

**Der stromartige Lichtbogen.** „Je mehr sich das Potential erhöht, desto mehr nimmt die Inductionsspule die Eigenschaften einer elektrostatischen Maschine an, bis man endlich zwischen den beiden Spulenenden einen stromartigen Lichtbogen hervorruft. (Fig. 32.) In diesem Stadium zeigen sich an allen hervorragenden Theilen der Spule Lichtausströmungen. Diese letzteren haben auch in dem leeren Raume zwischen der Primärspule und der Isolirröhre statt. Die Ausströmungen werden

[1]) Wir werden auf die physiologischen Wirkungen der Ströme hoher Wechselzahl ausführlich zu sprechen kommen (S. 149).



sich immer zeigen, selbst wenn die Wechselzahl eine geringe ist, und sogar dann, wenn die Primärspule mit einer zolldicken Schicht Wachs, Kautschuk, Glas oder von einem anderen Isolirmaterial umgeben wird.

„Die Intensität der Lichtausströmungen hängt ausser vom Potentiale auch noch von der Wechselzahl ab; wenn aber die Spule sehr gross ist, zeigen sie sich ganz unabhängig von der Grösse der Wechselzahl.[1]) Wenn die Lichtausströmungen sehr intensiv werden, so lassen sie einen ähnlichen, aber lauteren Ton hören, wie man ihn bei der Ladung einer Holtz-schen Influenzmaschine wahrnimmt; auch macht sich ein starker Ozongeruch bemerkbar. Je geringer die Wechselzahl ist, desto grösser wird die Möglichkeit einer Beschädigung der Spule durch die beschriebenen Lichtausströmungen. Bei ausserordentlich hoher Wechselzahl ist die Spule keiner Schadengefahr ausgesetzt: die Ausströmungen erwärmen bloss langsam in gleichförmiger Weise das Isolirmaterial.

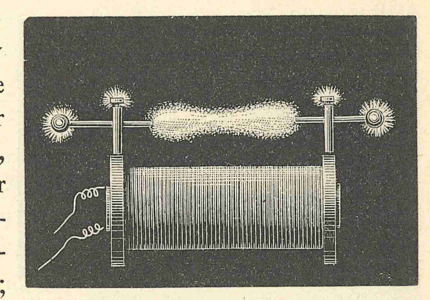


Fig. 32. Stromartige Entladung.

[1]) An einer von Tesla construirten Inductionsspule von 67.000 Ohms Widerstand zeigten sich die Lichtausströmungen schon bei einer Wechselzahl von hundert und weniger pro Secunde, obwohl die Secundärspule mit einer $^3/_4$ Zoll dicken Ebonitlage umgeben war.

**Funkenbüschel.** „An jenem Punkte angelangt, an welchem man die vorher beschriebenen Lichtausströmungen zuwege bringt, oder auch mit etwas höherer Wechselzahl, kann man durch gegenseitige Annäherung der Spulenenden und durch Regulirung der Capacitätswirkungen ein Sprühen von kleinen, silberglänzenden Funken oder ein Büschel von ausserordentlich dünnen, silberglänzenden Fäden (Fig. 33) inmitten eines mächtigen Funkenbüschels hervorrufen, wobei angenommen werden mag, dass jeder Funke oder Faden je einem Stromwechsel entspricht. Dies ist die schönste Lichterscheinung, welche man unter den gegebenen Umständen erzielen kann, und sie nimmt sich, wenn sie einem Luftgebläse ausgesetzt wird, ganz eigenthümlich aus. Wenn die sprühenden Funken den Körper des Beobachters treffen, so verursachen sie einiges Unbehagen, während wieder eine einfache, stromartige Lichterscheinung kein unangenehmes Gefühl hervorruft, falls man dabei nur die Vorsicht gebraucht, sich vor kleinen Brandwunden an den Händen durch Halten grossflächiger Leiter zu schützen.

Fig. 33. Lichtbüschel- und Funkenentladung.

*Anmerkung.* Professor Elihu Thomson beschreibt in seinen Experimenten mit Condensator-Entladungen in Inductionsspulen, den zwischen den Entladungspolen erhaltenen Lichtbogen und sagt weiters: „Der Funke



oder der Lichtbogen bleibt beständig, so lange nicht ein Luftgebläse dagegen gerichtet wird.[1]) Ist dies jedoch der Fall, dann wird die Lichterscheinung zu einem der schönsten elektrischen Phänomene. Sie wird zu einer Flammenmenge, bestehend aus dünnen und dicken Streifen, ein Netzwerk aus elektrischem Feuer, welches mit jeder Veränderung im Druck oder in der Richtung des Luftgebläses, sein Ansehen ändert. Zeitweilig, beispielsweise bei Unterbrechung des primären Stromkreises, erscheinen die Oscillationen der Ladung und Entladung als dünne, parallele Linien oder Funken an den Rändern der Flamme, welche zwischen den Polen spielt. Bei grösserer Capacität des Condensators wird die Entladung zwischen den Polen dichter und glänzender, selbst ohne Anwendung eines Luftgebläses; und wenn ein solches auf die Entladung gerichtet wird, lässt diese einen besonderen starken Ton vernehmen. (The Electrical World, Vol. XIX, Nr. 8, p. 117.)

**Fünfte typische Form.** „Wenn die Wechselzahl noch mehr vermehrt wird, dann wird es schwierig, mit der Spule einen Funken zu erzielen. Eine Lichterscheinung kann nur auf verhältnissmässig kurzer Funkenstrecke zuwege gebracht werden und dann zeigt sie die in Fig. 34 veranschaulichte Form. Die Mächtigkeit des Ausströmens ist so gross, dass, wenn das Lichtbüschel an einem Spulenende her-

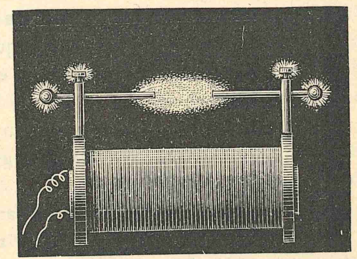


Fig. 34. Fünfte typische Entladungsform.

[1]) Siehe N. Tesla: „On alternate currents of very high frequency." American Institute Lecture, beschreibend Phänomen Fig. 7: Brush and Spray discharges.

gestellt ist, sich auch selbst dann kein Funke einstellt, wenn man (wie es Tesla häufig versuchte), die Hand oder einen anderen leitenden Gegenstand mitten in die Ausströmung hineinhält. Auch wird die Lichtausströmung sehr schwer durch Annäherung eines leitenden Gegenstandes aus ihrer Richtung abgelenkt.

---


Dem Verfasser bekannte Literatur:

Abria: „Mechanische, die elektrische Entladung begleitenden Phänomene." Pogg. Ann. Band LIII, p. 589.

Abria: „Mémoire sur quelques phénomènes mécaniques qui accompagnent les décharges électriques." Annales de Chimie et de Physique, tome LXXIV, 1840, p. 186.

Bezold: „Untersuchungen über die elektrische Entladung." Pogg. Ann. Band CXL, 1870, p. 541.

Clausius: „Ueber das mechanische Aequivalent einer elektrischen Entladung." Pogg. Ann. Band LXXXVI, 1852. Hinweis auf die Arbeiten von Helmholtz (Ueber die Erhaltung der Kraft. Berlin, 1847), Riess, Vorsselman, de Heer, Dove, Green.

Clausius: „Mémoire sur l'équivalent mécanique des décharges électriques." Annales de Chimie et de Physique, tome XXXVIII, 1853, p. 200.

Cohn E. und Heerwagen F.: „Ueber die Periode sehr schneller elektrischer Schwingungen." Wied. Ann. Band XLIII, p. 343.

Cook: „The Existence of an undulatory movement accompanying the electric spark." Paper read before the Physical Society, June 23, 1888. The Electrician Vol. XX, p. 319.

Cook: „Sur l'existence d'un mouvement ondulatoire accompagnant les décharges électriques." La Lumière Électrique, tome XXXI, p. 140. — The Electrician, V. XXII, p. 224.

Courtot et Lagrange: „Expériences relatives aux phénomènes produits dans des conducteurs par le passage de décharges des condensateurs." La Lumière Électrique, tome XXXIII, p. 593.




**Das Verhalten des Dielektricums.** „In diesem Stadium gehen die Lichtströme anscheinend mit grösster

---


Dvořák V.: „Ueber einige Versuche mit statischer Elektricität." Wied. Ann. Band XIX, 1883, p. 323.

Elster J. und Geitel A.: „Ueber einen hemmenden Einfluss der Belichtung auf elektrische Funken- und Büschelentladungen." Wied. Ann. Band XXXIX, p. 332.

Electrician: „The alternating electric discharge." Hinweis auf die Arbeiten von Thenard, Hautville, Chappuis, Mondesir, Alvergniat. The Electrician, August 21, 1880, p. 161.

Faraday: Experimentaluntersuchungen. Zwölfte Reihe. Pogg. Ann. Band XLVII. Leitung oder Leitungsentladung, p. 33. Elektrolyt. Entladung, p. 46. Zerreiss. Entladung und Isolation, p. 271. Elektrischer Funke und Lichtbüschel, p. 529, 538. — Dreizehnte Reihe. Pogg. Ann. Band XLVIII. Zerreissungsentladung. Eigenthümlichkeit der positiven und negativen Entladung in Funken und Büscheln, p. 269. Glimmentladung, p. 424. Dunkle Entladung, p. 430. Fortführende Entladung, p. 439. Verhalten des luftleeren Raumes zu elektrischen Erscheinungen, p. 513.

Feddersen: „Ueber die Theorie der Stromverzweigung bei der oscillatorischen Entladung. Pogg. Ann. Band CXXX, 1867, p. 439. Hinweis auf die Arbeiten von Kirchhoff und Knochenhauer.

Fernet: „Erscheinungen am Inductionsfunken." Comptes rendus t. LIX, p. 1005. Pogg. Ann. Band CXXIV, 1865, p. 351.

Foeppl: „Theorie der elektrischen Entladungen in Gasen." Wied. Ann. Band XXXIV, p. 222.

Gaugain: „Mémoire sur la décharge disruptive." Annales de Chimie et de Physique, tome VIII, 1866, p. 75.

Geissler: „Neue Erfahrungen im Gebiete der elektrischen Lichterscheinungen." Pogg. Ann. Band CXXXV, 1868, p. 332.

Guillemin: „Sur la décharge de la batterie électrique et sur l'influence de la configuration des conducteurs." Comptes rendus, 1866, p. 1083.

Leichtigkeit durch bedeutende Dicken von Isolirmaterial hindurch, und es ist besonders interessant, das Verhalten

Guillemin: „Ueber den Einfluss der Gestaltung der Leiter auf die Entladung der elektrischen Batterie." Comptes rendus LXII, p. 1083. Pogg. Ann. Band CXXVIII, 1866, p. 173.

Guillemin: „Sur la propagation du courant instantané de la bouteille de Leyde." Annales de Chimie et de Physique, tome XXVII, 1872, p. 518.

Hallwachs: „Einfluss des Lichtes auf die elektrostatischen Ladungen." Wied. Ann. Band XXXIII, p. 12.

Hellmann: „Ueber elektrische Entladungen." Wied. Ann. Band XIII, 1881, p. 543.

Hertz H.: „Ueber eine die elektrische Entladung begleitende Erscheinung." Wied. Ann. Band XIX, 1883, p. 78.

Herwig H.: „Ueber einige Wirkungen des Inductionsfunkens." Pogg. Ann. Band CXLVIII, 1873, p. 44.

Heydweiller A.: „Funkenentladungen des Inductoriums in normaler Luft." Wied. Ann. Band XXXVIII, p. 534.

Heydweiller A.: „Funkenentladungen von Condensatoren in normaler Luft." Wied. Ann. Band XLIII, p. 312.

Holtz W.: „Ueber die elektrische Entladung in flüssigen Isolatoren." Wied. Ann. Band XI, 1880, p. 704.

Hoor: „Einfluss des ultra-violetten Lichtes auf die elektrischen Ladungen und Entladungen." Rep. der Physik, Band XXV, p. 91. La Lumière Électrique, tome XXXIII, p. 239.

Izarn: „De l'emploi des tubes de Geissler pour l'observation des mouvements vibratoires." Comptes rendus, tome CVI, p. 543.

Jaumann: „Einfluss des rapiden Potentialwechsels auf die Entladungsphänomene." Rep. der Physik, Band XXV, p. 20. La Lumière Électrique, tome XXXIII, p. 191.

Kirchhoff G.: „Zur Theorie der Entladung einer Leydener Flasche." Pogg. Ann. Band CXXI, 1864, p. 551. Hinweis auf die Versuche von Feddersen (Pogg. Ann. CXIII, p. 43, CXVI, p. 132). Oettingen (Pogg. Ann. CXV, p. 313), Thomson (On transient currents. Phil. Mag., June 1853).



desselben zu studiren. Zu diesem Behufe mag man die Spulenenden an zwei Metallkugeln anschliessen, welche

Knochenhauer: „Expériences sur les effets de l'électricité statique." Annales de Chimie et de Physique, tome XVII, 1846, p. 77.

Knochenhauer: „Ueber Erscheinungen, die mit dem elektrischen Ladungsstrom zusammenhängen." Pogg. Ann. Band LXXI, p. 343.

Larroque: „Sur la décharge disruptive." La Lumière lectrique, tome XXX, p. 517.

Lehmann O.: „Ueber elektrische Entladung in Gasen." Wied. Ann. Band XXII, p. 305.

Lodge Oliver: „On the influence of self induction on the rate of discharge of a condenser." The Electrician Volume XXI, 1888, p. 39.

Oettingen: „Ueber künstlich herbeigeführte Interruption der oscillatorischen Entladungen einer Leydener Batterie und das Gesetz der elektrischen Schlagweite." Pogg. Ann. Jubelband, p. 269.

Oettingen: „Interferenz oscillatorisch-elektrischer Entladungen." Wied. Ann. Band XXXIV, p. 570. Elektrotechnische Zeitschrift, 1888, p. 456.

Oettingen: „Funkenentladungen des Inductoriums in normaler Luft." Wied. Ann. Band XL, p. 74. — Bemerkungen hierzu von Heydweiller, Band XL, p. 727.

Oettingen: „Ueber die oscillatorischen Entladungen metallischer Conductoren." Wied. Ann. Band XL, p. 83.

Paalzow A.: „Ueber die Wärme des elektrischen Funkens." Pogg. Ann. Band CXXVII, 1866, p. 126. — Bemerkungen hierzu von Feddersen, selber Band, p. 484.

Paschen M.: „Abhandlung über elektrische Entladungen in Gasen." Wied. Ann. Band XXXVII, p. 69. La Lumière Électrique tome XXXIII, p. 191.

Plücker: „Expériences sur l'Action des aimants sur les décharges électriques," Annales de Chimie et de Physique, tome LIV, 1858, p. 243. — Pogg. Ann. CIII, p. 88.

man einander beliebig nähert (Fig. 35). (Kugeln sind Platten vorzuziehen, weil man mit ersteren die Lichterscheinungen genauer beobachten kann).

---

Poggendorff: „Ueber eine neue Classe von Inductionserscheinungen." Poggendorff's Annalen, Band CXXIII, 1864, p. 448. — „Ueber Störung der Funkenentladung des Inductoriums durch seitliche Nähe isolirender Substanzen. Pogg. Ann. CXXVI, 1865, p. 57, 307. — „Ueber einige Vorgänge bei Entladung der Leydener Flasche." Pogg. Ann. CXXXIII, 1868, p. 152. — „Untersuchung mit Holtz'schen Röhren." Pogg. Ann. CXXXIV, 1868, p. 1.

Fig. 35. Leuchtende Entladung mit Isolator zwischen den Polen.

Priestley: „Erscheinungen bei starker Entladung." Pogg. Ann. Band X, p. 500.

Reitlinger und Urbanitzky: „Ueber die Erscheinung in Geissler'schen Röhren unter äusserer Einwirkung." Wied. Ann. Band X, 1880, p. 574. Band XIII, 1881, p. 670.

Riess: „Ueber die Seitenentladung der elektrischen Batterie." Abhandlungen der königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1849. Hinweis auf die Versuche von Priestley, Henly, Lord Mahon, Cuthbertson, Marum, Bohnenberger, Saxtorph, Biot, Sturgeon, Snow, Harris, Wheatstone, Faraday.

Riess P.: „Ueber die elektrische Funkenentladung in Flüssigkeiten." Pogg. Ann. Band CII, 1857. p. 177. — „Der Nebenstrom im Schliessungsdraht der Leydener Batterie." Pogg. Ann. Band CXXI. 1864, p. 613.

Riess: „Schwache elektrische Funken in der Luft." Pogg. Ann. Band CXXXVII, 1869, p. 451.



Wenn zwischen den Kugeln dielektrische Körper eingeführt werden, zeigen sich prachtvolle Lichterschei-

---

De la Rive: „Eigenschaften der discontinuirlichen elektrischen Ströme von abwechselnd entgegengesetzter Richtung." Pogg. Ann. Band LIV, p. 231, 378, 477.

De la Rive: „Sur l'influence du magnétisme sur les décharges électriques." Annales de Chimie et de Physique, tome LIV, 1858, p. 238.

Rosenschöld: „Ueber die Ladungserscheinungen, hervorgebracht durch elektrische Ströme." Pogg. Ann. Band XLIII, p. 207, 440.

Rubanovitch E.: „Formation de l'Ozone par les décharges électriques." La Lumière Électrique, tome XXXV, p. 157.

Schimikow: „Ueber das Spectrum des elektrischen Büschel- und Glimmlichtes in der Luft." Monatsber. der Berliner Akademie, 1866, p. 375. Pogg. Ann. Band CXXIX, 1866, p. 508. — Hinweis auf die Arbeiten von Masson, Ångström, Willigen, Plücker, Waltenhofen.

Siemens W.: „Ueber die elektrostatische Induction." Pogg. Ann. Band CII, 1857, p. 66. — Hinweis auf die Arbeiten von Faraday, Wheatstone, Thomson, Guillemin.

Sinsteden: „Elektrische Spannungserscheinungen." Pogg. Ann. Band LXIX, p. 353. — „Zur Kenntniss der Natur der Spannungselektricität." Pogg. Ann. Band LXXXV, 1852, p. 465.

Toepler A.: „Beitrag zur Kenntniss der elektrischen Oscillationen von sehr kurzer Schwingungsdauer." Wied. Ann. Band XLVI, p. 306.

Trouvelot: „Sur la forme des décharges électriques sur les plaques photographiques." La Lumière Électrique, tome XXX, p. 269.

Trowbridge: „Bewegung der Atome in den elektrischen Entladungen." Philosophical Magazine, 5. Serie, Band XXX, p. 480. — La Lumière Électrique, tome XXXIX, p. 489.

nungen. Wenn die Kugeln sich ganz nahe zueinander befinden und zwischen beiden Funken spielen, so werden diese letzteren sofort aufhören, sobald eine dünne Hartgummiplatte in den freien Raum zwischen den Kugeln eingeführt wird. Die Lichterscheinung wird augenblicklich zu einem intensiv leuchtenden Kreise von mehreren Zoll Durchmesser, vorausgesetzt, dass die Kugeln von genügend grosser Oberfläche sind. Der Durchgang des Stromes durch die Hartgummiplatte erhitzt und erweicht dieselbe derart, dass sie in diesem Zustande an eine andere Platte angeklebt und daselbst haften gemacht werden kann.[1])

Sind die Kugeln so weit voneinander entfernt, dass sich zwischen ihnen keine Funken einstellen, und führt man eine dicke Glasplatte zwischen die Kugeln ein, so wird die Lichterscheinung augenblicklich von den Kugeln nach dem Glas gelenkt, und zwar in der Form von

Verdet: „Recherches sur les phénomènes d'induction produits par les décharges électriques." Annales de Chimie et de Physique, tome XXIV, 1848, p. 377.

Vicentini M. G.: „Phénomènes lumineux produits dans les conducteurs parcourus par la décharge électrique et placés dans l'air raréfié." L'Elettricista, Juni und Juli 1892. La Lumière Électrique, tome XIV, No 37, 38.

Wächter F.: „Ueber die Artunterschiede der positiven und negativen Elektricität." Wied. Ann. Band XXXVII, p. 463. — Bemerkungen hierzu von Wesendonck, Band XXXVIII, p. 222, Franke, selber Band, p. 673.

Warburg E.: „Ueber die elektrische Kraft an den Elektroden und die Elektrisirung des Gases bei der Glimmentladung." Wied. Ann. Band XLV, p. 2.

Warren de la Rue und Müller Hugo: „Experiments on the Electric Discharge trough Vacuum tubes." A paper read before the Royal Society, London, May 16, 1878.

Warren de la Rue: Versuche mit hochgespannten Entladungen einer aus 14.400 Zellen bestehenden Batterie vor der Royal Institution, London, Januar 1881. The Electrician, Volume IX, 1882, p. 77, 101, 125.

Warren de la Rue und Müller Hugo: „Experimental researches on the electric discharge." The Electrician Vol. IV, 1879, p. 43, Vol. XI, 1883, p. 133.



Weinhold: „Bemerkungen über Inductionsfunken." Pogg. Ann. Band CXL, 1870, p. 176.

Wesendonck K.: „Ueber die Durchlässigkeit einiger Gase für hochgespannte Entladungen aus einer Spitze." Wied. Ann. Band XXXIX, p. 575.

Wheatstone: „Dauer eines elektrischen Funkens." Pogg. Ann. Band XXXIII, p. 508. — „Versuch, die Geschwindigkeit der Elektricität und die Dauer eines elektrischen Funkens zu messen." Pogg. Ann. Band XXXIV, p. 464.

Wiedemann und Ebert: „Einfluss des Lichtes auf die elektrischen Entladungen." Wied. Ann. Band XXXIII, p. 2.

Wiedemann und Ebert: „Ueber elektrische Entladungen." Wied. Ann. Band XXXVI, p. 643.

Wolf M.: „Disruptive Entladungen in Gasen." Wied. Ann. Band XXXVII, p. 306. La Lumière Électrique, tome XXXIII, p. 191.

Wüllner A.: „Ueber die Spectra einiger Gase in Geissler'schen Röhren." Pogg. Ann. Band CXXXV, p. 497; CXLVI, p. 321, CXLIX, p. 103.

Zenger: „Études sur les décharges électriques." La Lumière Électrique, tome XXXVIII, p. 251.

[1]) Fig. 36 stellt den Vorgang nach einem Pariser Experimente Tesla's dar. Die Entladung tritt zuerst als Funke oder Lichtbogen zwischen zwei Scheiben (eine davon ist ein Metallsieb) auf. Später wird zwischen die Scheiben eine dritte aus Ebonit eingeführt und alsbald bildet sich der oben beschriebene Lichtkreis. (Lumière Electrique XLIII, No 97.

Lichtströmen.[1]) Es erscheint dem Auge so, als wenn diese Ströme durch das Dielektricum hindurch gingen.

[1]) Aehnliche Experimente wurden von Swinburne mit einem 50 H. P. Transformator von 130.000 Volts, im Londoner Crystallpalaste (13. April 1892) angestellt. „Ein Stück Schiefer nahm zwischen seinen beiden Enden die continuirlichen Entladungen auf. Der Schiefer erwärmte sich, hierdurch erweisend, dass Ströme durch seine Materie gegangen waren. Ein Stück trockenes Tannenholz (2 Fuss lang, 2 Zoll breit und $^1/_4$ Zoll dick) wurde einige Minuten hindurch Strömen von 130.000 Volts Spannung ausgesetzt, und man sah dem Holzstück, besonders an seinen Oberflächen, Funken entsprühen. Die Richtung der Funken war anfangs sehr unregelmässig und hatte die Form von Verästungen; endlich trafen die Entladungen zusammen und das Holzstück ging in Flammen auf. Es bildete sich ein Lichtbogen und derselbe erhob sich auf einmal raschelnd und sausend in einem Bogen über der Flamme." (The Electrician, April 22, 1892). Siehe auch: „Versuche mit hochgespanntem Wechelstrom, vorgeführt im Charlottenburger Werke der Firma Siemens und Halske." (Elektrotechnische Zeitschrift 1891, Heft 21.)

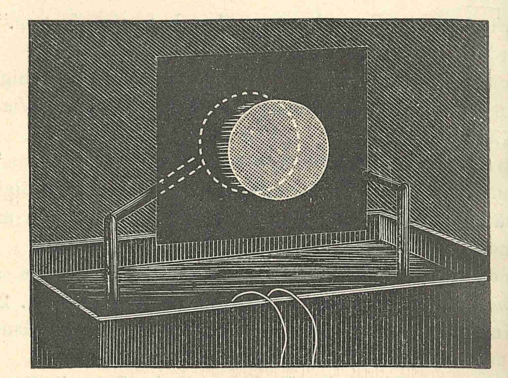


Fig. 36. Leuchtende Scheiben.



Dies ist in Wirklichkeit nicht der Fall; die Lichtströme werden durch die Luftmolecüle hervorgerufen, die im Raume zwischen den in entgegengesetztem Sinne geladenen Kugeln, in heftige Bewegung versetzt werden.[1])

Tesla meint, dass mit keinem, wenn auch noch so grossen Transformator, solch glänzende Lichterscheinungen erzielt werden könnten, wie sie durch Condensatorentladungen in einer Inductionsspule hervorgebracht werden. Die beste Art, derlei Experimente anzustellen, sei folgende: Man nehme eine sehr dünne Hartgummi- oder Glasplatte und klebe an die eine Flachseite derselben eine Stanniolscheibe von grossem Durchmesser, aus deren Mitte ein grosser Kreis herausgeschnitten ist. Auf die andere Seite wird eine kleinere Stanniolscheibe aufgeklebt, deren Durchmesser jenem des Ausschnittes der anderen Seite gleichkommt und mit demselben die gleiche Achse hat. Die beiden Stanniolstücke werden mittelst gut isolirter Drähte an die Spulenenden angeschlossen. Man erzielt hierdurch eine Lichtscheibe, bestehend aus ein-

[1]) Resultate wie die eben verzeichneten, wurden von den Brüdern H. B. und W. Fox Bourne mit einem Transformator erreicht, welcher 85.000 Volts Spannung bei $^1/_{20}$ Ampère aufwies (Versuche vor der Old Students Association im März 1892.) — Professor Elihu Thomson erwähnt bei Beschreibung seiner Versuche mit hochgespannten Wechselströmen, ebenfalls der glänzenden Erscheinung, welche sich einstellt, wenn die Kugeln beiläufig 24 Zoll voneinander entfernt sind, und wenn zwischen dieselben eine dicke Glasplatte eingeführt wird. Die Entladungsfunken zerstreuen sich über die ganze Oberfläche des Glases, sich in unzählige Verzweigungen zersplitternd, welche über die Schneiden der Platten zusammenschlagen und ineinander verlaufen. (Electrical World, Vol. XIX, Nr. 14.)

förmigenStrömungen, oderaber ein Netzwerk dünner, silberglänzender Fäden oder endlich eine Masse geräuschvoller glänzender Funken, welche die ganze Scheibe bedecken.

„Wenn sich — sagt Tesla — zwischen den Spulenenden kein anderes Dielektricum befindet als bloss Luft, dann findet wohl ein gegenseitiges Anprallen (Bombardement) der Molecüle statt, ohne dass es aber für das Auge sichtbar würde. Sobald aber ein Dielektricum in die Strecke zwischen den beiden Spulenenden eingeführt wird, erhöht sich die inductive Wirkung um ein Bedeutendes, die fortgeschleuderten Luftmolecüle finden ein Hinderniss, und das Anprallen der Molecüle wird so heftig, dass hierdurch ihre Strömung leuchtend wird. Wenn man durch irgend ein mechanisches Mittel ein ähnlich heftiges Aneinanderprallen der Molecüle hervorrufen könnte, müsste man damit auch eine ähnliche Lichterscheinung hervorrufen können. Als Beispiel denke man sich einen aus einer schmalen Oeffnung unter ungeheurem Drucke hervorschiessenden Luftstrom, welcher an eine isolirende Substanz (wie z. B. Glas) anprallt. Dieser Strahl würde in der Dunkelheit leuchten, und es müsste möglich sein, durch das eben beschriebene mechanische Mittel eine Phosphorescenz von Glas, Porzellan u. s. w. hervorzurufen.

„Je grösser die specifische inductive Capacität des in die Strömung eingeführten Dielektricums ist, desto mächtiger ist der hervorgebrachte Lichteffect. Die Ströme zeigen ausserordentlich hohe Potentiale, selbst wenn das Glas mehr als zwei Zoll Dicke hat. Ausser der Erwärmung, welche aus dem Anprallen der Molecüle



resultirt, findet auch noch im Dielektricum selbst eine Erwärmung statt, welche im Glas anscheinend bedeutender ist als in Hartgummi. Tesla schreibt dies der grösseren inductiven Capacität des Glases zu, welcher zufolge im letzteren bei gleicher Potentialdifferenz ein grösserer Energieaufwand stattfindet als im Hartgummi. Es mag dies dem Vorgang ähnlich sein, wenn eine galvanische Batterie mit einem Kupfer- und einem Messingdraht gleicher Dimensionen kurzgeschlossen wird. Der Kupferdraht, obwohl ein besserer Leiter, kann sich mehr erwärmen als der Messingdraht, weil mehr Strom in ihm verausgabt wird. Was in anderen Fällen als ein Vortheil des Glases angesehen wird, ist hier ein Gebrechen. Glas wird leichter angegriffen als Hartgummi; wenn das erstere sich bis zu einem gewissen Grade erwärmt hat, bricht sich die Strömung an irgend einem Punkte einen Durchgang und nimmt die gewöhnliche Form des Lichtbogens an. Die durch das Anprallen der Molecüle im Dielektricum hervorgerufene Erwärmung würde sich vermindern, wenn der Luftdruck vermehrt würde, und sie würde bei ausserordentlich hohem Druck unbedeutend sein, solange die Wechselzahl in entsprechendem Maasse zunimmt.

„Es kann in diesen Experimenten oft wahrgenommen werden, dass, wenn sich die Kugeln über Funkenstrecke befinden, man durch Annäherung einer Glasplatte zum Beispiel, eine Funkenentladung zwischen den Kugeln hervorrufen kann. Solches geschieht dann, wenn die Capacität der Kugeln etwas geringer als der kritische Werth ist, welcher die grösste Potentialdifferenz an

den Spulenenden ergiebt. Durch die Annäherung eines Dielektricums wird die specifische inductive Capacität des zwischen den Kugeln befindlichen Raumes erhöht, und somit dieselbe Wirkung hervorgerufen, als wenn die Capacität der Kugeln vermehrt worden wäre. Das Potential an den Spulenenden kann dann so hoch werden, dass der Zwischenraum durchbrochen wird. Das Experiment wird am besten mit dichtem Glase oder Glimmer ausgeführt.

„Eine andere interessante Wahrnehmung ist, dass eine Platte aus Isolirmaterial dann, wenn die Entladung durch sie hindurch geht, von einer der Kugeln, und zwar von der ihr am nächsten befindlichen, stark angezogen wird, was wahrscheinlich der geringeren mechanischen Wirkung des Anprallens auf dieser Seite, und vielleicht auch der grösseren Elektrisirung zuzuschreiben ist.

**Der beste Isolator.** „Aus dem Verhalten der Dielektrica in diesen Experimenten — sagt Tesla weiter — mag geschlossen werden, dass bei Anwendung von Wechselströmen hoher Wechselzahl, der beste Isolator jener sein würde, welcher die geringste specifische Inductionscapacität besässe, und gleichzeitig auch jener, welcher die grösste Potentialdifferenz ertragen könnte. Hierdurch zeigen sich uns zwei ganz entgegengesetzte Möglichkeiten, die nöthige Isolirung anzustreben, und zwar: entweder hohes Vacuum, oder aber Gas unter grossem Druck anzuwenden. Das Erstere würde vorzuziehen sein, doch kann leider keiner von den beiden Wegen in der Praxis leicht eingeschlagen werden.

Wir werden später auf das Verhalten von ausserordentlich hohem Vacuum ausführlicher zu sprechen



kommen. Vorläufig mag folgendes mit Inductionsspulen auszuführendes Experiment vorausgeschickt werden. Wenn eine Glasröhre, in welcher das höchste praktisch erreichbare Vacuum hergestellt wurde, in der in Fig. 37 veranschaulichten Weise mit den Spulenenden verbunden wird, erwärmen sich die in die Röhrenenden eingeschmolzenen Drähte augenblicklich in hohem Grade und das Glas wird an jedem Ende intensiv phosphorescent, während die Mitte der Röhre verhältnissmässig dunkel erscheint und einige Zeit kühl bleibt.

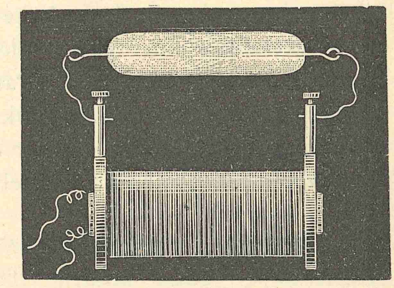


Fig. 37. Entladung im hohen Vacuum.

**Physiologische Wirkungen.**[1] „Trotzdem die Potentialdifferenz der hier besprochenen Entladungen eine enorme sein mag, sind sie, wenn sie

[1]) Tesla schlägt sogar vor, die physiologischen Effecte von Wechselströmen zu Heilzwecken zu verwenden. Er sagt: „Wenn man eine Person isolirt und sie mit einer Stromquelle von hoher Wechselzahl in Verbindung bringt, erwärmt sich die Haut in Folge des molecularen „Bombardements". Es ist nur eine Frage der Dimensionen und der Anordnung des Apparates, diese Erwärmung nach Belieben hervorzubringen. Das sich mir aufdrängende Problem ist, zu erfahren, ob nicht ein geschickter Arzt mit Hilfe eines entsprechenden Apparates ein Heilverfahren ausfindig machen könnte, bei welchem das obige Phänomen zur Verwendung käme. Die Erwärmung wäre natürlich eine oberflächliche, und würde eintreten, ob die nun betreffende Person nackt oder bekleidet, stehend oder liegend wäre." (Electrical Engineer, New York.)

durch den menschlichen Körper gehen, wenig fühlbar. Die Erklärung hiefür ist zum Theil in der höheren Wechselzahl,[1]) hauptächlich aber in dem Umstande zu suchen, dass, wenn die Potentialdifferenz einen enorm hohen Werth erreicht, ausserhalb der Spule weniger Energie verausgabt wird, indem die von der Spule absorbirte Energie mit dem Quadrat des Potentials wächst. Bis zu einem gewissen Punkte wächst die ausserhalb der Spule verausgabte Energie mit dem Anwachsen des Potentials, über diesen Punkt hinaus nimmt aber die äusserliche Energieabgabe rapid ab. Bei Anwendung einer gewöhnlichen Hochspannungs-Inductionsspule ergiebt sich das Paradox, dass bei einer gegebenen Stromstärke im Primärkreise ein von der Spule erhaltener Schlag gefährlich für den menschlichen Organismus sein kann, während ein vielfach stärkerer Strom ganz

[1]) Professor Tatum hat im Jahre 1890 mit Zuhilfenahme einer Thomson'schen Wechselstrommaschine, Versuche über die physiologischen Effecte von Strömen hoher Wechselzahl angestellt. Er hat, an Hunden experimentirend, gefunden, dass Ströme von einer Wechselzahl von 4500 pro Secunde weit weniger im Stande seien, tödtliche Wirkungen hervorzubringen, als gleich starke Ströme von bedeutend geringerer Wechselzahl. Eine Stromspannung von 45 Volts wurde bei einer Wechselzahl von 120 pro Secunde schon gefährlich, während es bei einer Wechselzahl von 4500 einer Spannung von 495 Volts bedurfte, um mit derselben Stromstärke die gleichen physiologischen Effecte hervorzubringen. (Siehe „Physiological Effects of alternating Currents of High Frequency". By Elihu Thomson. The Electrical World, March 14, 1891, Seite 214), ferner: „Phenomena of alternating currents of very high frequency", by Elihu Thomson, Electrical World, Vol. XVII, Nr. 14, Vol. XVII, Nr. 17. Vom selben Verfasser: „The physiological effects of alternating currents of high frequency." The Electrician, Vol. XXIX, Nr. 744.)



ungefährlich bleiben kann, selbst wenn die Wechselzahl dieselbe ist. Bei hoher Wechselzahl und ausserordentlich hohen Potentialen wird alle dem Primärkreise zugeführte Energie in der Spule selbst verausgabt, wenn diese letztere nicht mit Körpern von einer gewissen Grösse in Verbindung gebracht wird. Es findet zwar kein Durchschlag, keine locale Beschädigung statt, aber das Ganze: leitendes und isolirendes Material, erwärmt sich in gleichförmiger Weise.

Um Missverständnissen über die physiologischen Wirkungen von Strömen hoher Wechselzahl vorzubeugen, findet Tesla es nothwendig, festzustellen, dass, dieselben, obwohl sie unbestreitbar weniger gefährlich sind als Ströme niedriger Wechselzahl, dennoch nicht als harmlos anzusehen sind. Was im Vorstehenden gesagt wurde, bezieht sich nur auf Ströme, welche in einer gewöhnlichen Inductionsspule auftreten, und also sehr geringer Intensität sind. Ströme hoher Wechselzahl, direct von der elektrischen Maschine oder von einem Secundärkreise geringen Widerstandes kommend, haben mehr oder weniger starke Wirkungen, und können ernsthaften Schaden verursachen, besonders wenn sie in Verbindung mit einem Condensator angewendet werden.

Tesla hat gefunden, dass bei Anwendung nicht zu hoher Wechselzahl und bei einer Stromstärke, mittelst welcher eine vier Fuss lange, an den Enden mit einer innerlichen und äusserlichen Condensatorbekleidung versehene Röhre in einer gewissen Helligkeit erhalten werden kann, die physiologischen Wirkungen

so kräftig sind, dass sie dem an solche Schläge nicht Gewöhnten eine ernste körperliche Beschädigung zufügen könnten,[1]) während bei einer Wechselzahl von 20.000 pro Secunde die Röhre in der nämlichen Helligkeit erhalten werden kann, ohne dass ein erhaltener Schlag fühlbar würde. Dies ist hauptsächlich dadurch zu erklären, dass bei höherer Wechselzahl eine viel geringere Potentialdifferenz nothwendig ist, um den nämlichen Lichteffect hervorzubringen, und hat auch

[1]) W. Korthals hat die Thatsache, dass Tesla bei seinen Versuchen mit hochgespannten Strömen von hoher Wechselzahl die Pole einer Inductionsspule, deren E. M. K. 70.000 Volts war, berührte, ohne den geringsten Schaden zu nehmen, zum Gegenstande einer Untersuchung gemacht, deren Ergebniss sich in folgendem Satz zusammenfassen lässt: „Die Capacität des menschlichen Körpers bewirkt, dass bei gegebener Spannung einer Wechselstromquelle, die Körperspannung bei nicht zu geringem Widerstande zwischen Körper und Stromquelle, in hohem Grade abhängig ist von der Anzahl der Wechsel pro Zeiteinheit, und zwar derart, dass mit steigender Wechselzahl die Gefährlichkeit einer Wechselstromspannung abnimmt. Aus eben diesem Grunde erwies sich für Tesla die Berührung seiner Hochspannungsspule als durchaus ungefährlich. Wir haben es hier mit einer reinen Capacitätserscheinung zu thun, die so auffallend in die Augen springt, weil bei hohem Widerstande der Spule die angewandte Wechselzahl eine so enorme war." (Elektrotechnische Zeitschrift 1892, Heft 32, S. 430.)

Professor E. T. Houston sucht in einer Mittheilung an das Franklin-Institut die Harmlosigkeit der Ströme hoher Wechselzahl durch den „Skin-Effect" (Hauteffect) oder Concentrirung von rapid wechselnden Strömen auf der Oberfläche des Leiters zu erklären. „Je mehr die Wechselzahl zunimmt, desto mehr wird der Körper geschützt; würde die Wechselzahl eine so grosse werden



ferner ein erhöhter Nutzeffect in der Lichtproduction statt. Es ist klar, dass in solchen Fällen der Nutzeffect desto grösser ist, je höher die Wechselzahl ist; je schneller die Ladung und Entladung der Molecüle vor sich geht, desto weniger Energie wird auch in Form dunkler Ausstrahlung verloren gehen.

**Eigenthümlichkeiten der Lichterscheinungen, hervorgebracht durch Ströme hoher Wechselzahl.** „Die

wie jene der Aetherwellen, welche das Sonnenlicht hervorbringen, so würde sie auf der Oberfläche des Körpers dieselben wohlthätigen Effecte hervorbringen, als jene, welche durch das Licht und die Wärme der Sonne hervorgebracht werden, und mit welchen sie wahrscheinlich identisch sind. (The Electrician, July 8, 1892, p. 242.)

Betreffs der Bestimmung hoher Potentiale bemerkt Heydweiller (Elektrotechnische Zeitschrift 1893, Heft 3), dass anlässlich der Versuche Tesla's und E. Thomson's von sehr hohen Spannungen die Rede ist, deren Grösse (von E. Thomson) bis zu einer halben Million Volt angegeben wurde, wobei allerdings bemerkt wird, dass diese Grösse nicht gemessen, sondern nur — wahrscheinlich aus der Funkenlänge — geschätzt ist. Die höchsten Potentiale, die bisher mit einiger Sicherheit gemessen worden sind, dürften nach Heydweiller, 50.000 Volts nicht übersteigen, und jene Schätzungen, die nur durch weitgehende Extrapolation mittelst hypothetischer Schlagweitengesetze gewonnen sein könnten, hätten daher sehr geringen Werth und seien wahrscheinlich nicht einmal der Grössenordnung nach richtig. Heydweiller hat nun zur Bestimmung hoher Potentiale eine Reihe von Versuchen angestellt, welche in Elektrotechn. Zeitschrift 1893, Heft 3, nachgelesen werden können. Siehe auch: Waitz: „Ueber eine Methode zur absoluten Messung hoher Potentiale." Wied. Ann. Band XXXVII, p. 330.

durch eine Hochspannungsinductionsspule hervorgebrachte Lichtausströmung ist in mancher Beziehung von jener, durch eine mächtige elektrostatische Maschine hervorgebrachten, verschieden. Das von Strömen hoher Wechselzahl herrührende Lichtbüschel hat weder die violette Farbe der positiven, noch den Glanz der negativen Entladung elektrostatischer Apparate. Sein Ansehen hat etwas von beiden Färbungen, da es abwechselnd positiven oder negativen Zeichens ist. Nachdem aber, wenn die Polspitze (oder das Spulenende) positiv elektrisirt ist, die Lichtausströmung mächtiger ist, als wenn die Spitze im negativen Sinne elektrisirt wäre, so folgt daraus, dass die Spitze des Funkenbüschels mehr der positiven und der untere Theil (der Stiel) mehr der negativen statischen Entladung gleich sieht. Im Dunklen, wenn das Lichtbüschel besonders gut wahrnehmbar ist, erscheint der untere Theil beinahe ganz weiss.

**Der Luftzug.** „Der von der Lichtausströmung verursachte Luftzug ist (obwohl er so stark werden kann, dass er oft noch in einiger Entfernung von der Spule wahrnehmbar ist) im Vergleiche zum Umfange der Lichterscheinung geringer, als der von dem positiven Funkenbüschel einer elektrostatischen Maschine hervorgebrachte Luftzug.[1]) Aus der Natur des angedeuteten Phänomens können wir schliessen, dass, je höher die Wechselzahl ist, desto geringer auch der durch die

[1]) Lehmann: „Beobachtungen über elektrische Entladungen bei einer grossen Influenzmaschine." Wied. Ann. Band. XLIV, p. 649.



Lichtausströmung verursachte Luftzug sein müsse, und dass bei gewöhnlichem atmosphärischen Drucke und bei genügend hoher Wechselzahl gar keine Luftbewegung auf messbare Entfernungen stattfinden würde. Bei einer mit Maschinen erreichbaren Wechselzahl ist der durch den Luftzug hervorgebrachte mechanische Effect stark genug, grosse Flügelräder mit bedeutender Schnelligkeit zu treiben, was im Dunklen einen blendenden Eindruck macht. (Siehe Fig. 38.)

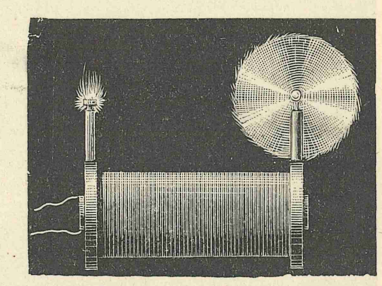


Fig. 38. Drehung durch das Lichtbüschel.

Im Allgemeinen können die meisten Experimente, welche gewöhnlich mit Influenzmaschinen angestellt werden, bei Anwendung von elektrischen Strömen hoher Wechselzahl, auch mittelst Inductionsspulen angestellt werden. Die mit letzteren erzielten Wirkungen sind natürlich viel augenfälliger, weil sie von grösserer Mächtigkeit sind.[1])

[1]) Nach Mascart ist der Nutzeffect aller Influenzmaschinen bedeutend geringer als jener eines Inductionsapparates. Bouchotte hat diesbezüglich Arbeitsmessungen mit einer Holtz-Maschine angestellt und gefunden, dass für eine bestimmte E. M. K. und Funkenmenge, sowohl die Elektricitätsmenge als Arbeitsverbrauch der Anzahl der Umläufe proportional sind. — Neuere Typen von Influenzmaschinen sind jene von Holtz, Gläser, Töpler, Wimshurst, Ducretet, Lisser und Benecke, auch mögen noch die

**Intensität der Lichtströmungen.** „Wenn man ein kurzes Stück gewöhnlichen, mit Baumwollfäden umhüllten Drahtes mit einem Spulenende verbindet (Fig. 39), können die von allen Theilen des Drahtes ausgehenden Lichtströmungen so intensiv werden, dass sie einen beträchtlichen Lichteffect hervorrufen.[1]) Wenn die Potentiale und die Wechselzahl sehr hoch sind, erscheint ein mit Guttapercha isolirtes und an das Spulenende angeschlossenes Drahtstück wie mit einem Lichtglimmer bedeckt.

Fig. 39. Lichtausströmungen aus mit Baumwolle isolirtem Draht.

Ein Stück sehr dünnen nackten Drahtes an einem Spulenende (Fig. 40) zeigt eine mächtige Ausströmung und schwingt fortwährend hin und her,

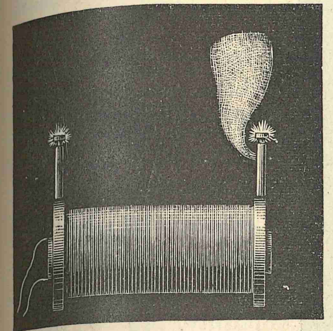
Apparate von Carré, Bertsch, Piche, Voss und Sir W. Thomson erwähnt werden. Eine ausführliche Geschichte der Entwickelung der Influenzmaschinen wurde von Silvanus Thompson in der Society of Telegraph Engineers and Electricians vorgetragen. (Journal of the Society of Telegraph Engineers and Electricians, 1888, Nr. 74, tome XVII.) Siehe ferner J. Gray: „Influence machines" 1890.

[1]) Tesla hat dieses Experiment gelegentlich seiner Londoner Vorlesung ausführlicher beschrieben. Zwei etwa 7 Meter lange, mit Baumwolle isolirte Drahtstücke waren an Isolirschnüren in einer Entfernung von etwa 30 Centimeter zueinander aufgehangen. Je



oder beschreibt einen Kreis, was einen eigenthümlichen Eindruck macht.[1])

Aehnliche Erscheinungen werden, wie soeben bemerkt, durch von elektrostatischen Maschinen erzeugte Entladungen hervorgerufen. Z. B.: Wird ein Conductor einer grossen Influenzmaschine mit einem etwa 3 Centimeter langen, mit Stanniol belegtem Brett verbunden, der



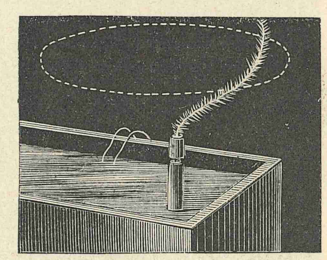


Fig. 40. Aussehen eines an die Spule angeschlossenen dünnen Drahtes.

andere mit einem in circa 15 Centimeter Entfernung

ein Drahtstück wurde mit den Enden der Inductionsspule verbunden. Der Raum wurde dunkel gemacht und man sah von der ganzen Oberfläche der Drahtstücke reichliche Lichtströme ausgehen, welche den Raum so weit erleuchteten, dass man alle in demselben befindlichen Gegenstände ganz gut wahrnehmen konnte. Die Länge der Drahtstücke war durch wiederholte Versuche bestimmt worden; Vorberechnungen derselben führten zu keinem Resultate.

[1]) Fig. 40 und 41 sind Abbildungen aus den Pariser Experimenten Tesla's. Die letztere zeigt zwei concentrische Kreise, die erstere stellt die Vibration des dünnen, nackten Kupferdrahtes vor. (Lumière Electrique XLIII, No 9.)

parallel dazu ausgespannten feinen Draht, so zeigt sich letzterer längs seiner ganzen Oberfläche mit Glimmlicht bedeckt, welches, wenn die Elektrisirung positiv war, eine völlig zusammenhängende Hülle bildet, im entgegengesetzten Falle sich aus dicht aneinander gereihten Lichtpunkten zusammensetzt. Bringt man nun eine Nebenschliessung mit einer circa 2 Centimeter langen Funkenstrecke an, so ändert sich die Entladung sofort sehr auffällig. Ist der Draht negativ, so besetzt er sich ringsum seiner ganzen Länge nach gleichmässig mit langen Büschelstrahlen; ist er positiv, so entstehen kleine Büschel, dagegen kommt er in sehr lebhafte Transversalschwingungen, offenbar in Folge der wechselnden elektrostatischen Anziehung durch das Brett.[1])

Fig. 41. Leuchten von zwei kreisförmigen Drähten.

**Verhalten zu runden und spitzen Oberflächen.** Eine andere Eigenthümlichkeit der in einer Inductions-

[1]) Lehmann: „Entladungen einer Influenzmaschine." Wied. Ann. Band XLIV, p. 651. Elektrotechnische Zeitschrift 1892, Heft 3.



spule mit Wechselströmen auftretenden Lichterscheinungen ist, dass dieselben ebenso leicht von Flächen wie von Spitzen ausgehen.

Wenn man ein dickes Drahtstück, welches an einem Ende mit einer Spitze und am anderen mit einer Kugel versehen ist, an dem positiven Pole einer Influenzmaschine anbringt, wird die ganze Ladung durch die Spitze verloren gehen. Wenn aber dasselbe Drahtstück an einen Pol der Inductionsspule angeschlossen wird, kann man wahrnehmen, dass bei sehr hoher Wechselzahl die Ausströmungen von der Kugel ebenso reichlich ausgehen wie von der Spitze.[1]) (Fig. 42.)

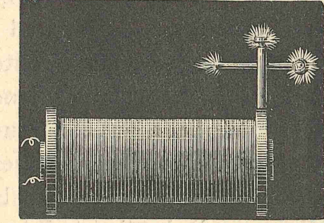


Fig. 42. Lichtausströmung an Kugeln und Spitzen.

„Es ist kaum anzunehmen, sagt Tesla, dass wir Aehnliches mit einer Influenzmaschine erreichen könnten, und zwar aus dem einfachen

[1]) Obwohl mit den anzuführenden Experimenten nicht in Verbindung stehend, mag es für den Forscher interessant sein, über das Verhalten einer Wechselstromentladung zwischen Kugel und Spitze einen von Prof. Edward L. Nichols verfassten Artikel in der „Elektrotechnischen Zeitschrift", 1891, Heft 11, nachzulesen.

Ries: „Ueber die Anordnung der Elektricität auf Leitern." Abhandl. der kgl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1844, p. 1.

Poggendorff: „Ueber elektrische Spitzenwirkung." Monatsber. der Berliner Akademie. Juli 1869. Pogg. Ann. Band CXXXIX, 1870, p. 341.

Precht: „Ueber das Ausströmen der Elektricität aus Spitzen." Wied. Ann. Band XVIX. 1893.

Grunde, weil die Spannung mit dem Quadrate der Dichtigkeit wächst, welch letztere wieder proportional zum Radius der Krümmung ist. Mit einem beständigen Potential würde es nun einer enormen Ladung bedürfen, um auf einer glatten Kugel, während dieselbe mit einer Spitze in leitender Verbindung ist, Ausströmungen hervorzurufen. Bei einer Inductionsspule aber, deren Entladung mit grosser Rapidität wechselt, steht die Sache anders. Hier haben wir es mit zwei Bestrebungen zu thun. Zuerst finden wir die Bestrebung, zu entweichen, welche im Ruhezustand vorhanden ist und welche von dem Radius der Krümmung abhängt; zweitens finden wir das Bestreben vor, sich vermöge der Condensatorwirkung in der umgebenden Luft zu zerstreuen, was von der Oberfläche abhängt. Wenn eine dieser Bestrebungen auf seinem Maximum angelangt ist, befindet sich die andere auf Minimum.[1]) In diesem Zustande wird die Lichtströmung hauptsächlich durch die Luftmolecüle verursacht, welche mit der Spitze in körperliche Berührung kommen. Dieselben werden angezogen und abgestossen, geladen und entladen, sie gerathen in Vibration und geben Lichtwellen. An der Kugel aber wird unzweifelhaft der Lichteffect grösstentheils durch Induction hervorgerufen und es müssen, um die Lichterscheinung hervorzurufen, die Luftmolecüle nicht unbedingt in Contact mit der Kugel kommen, obwohl dies zweifelsohne geschieht.[1])

„Wollen wir uns von dem Gesagten überzeugen, so brauchen wir bloss die Condensatorwirkung zu erhöhen, indem wir z. B. die Kugel auf eine gewisse Entfernung, mit einem besseren Leiter wie ein solcher das umgebende Medium ist, umgeben, wobei dieser Leiter natürlich isolirt sein sollte, um andere Einflüsse hintanzuhalten; auch können wir die Kugel mit einem besseren Dielektricum umgeben und ihr einen isolirten Leiter nähern. In beiden Fällen wird die Lichtausströmung eine reichlichere werden. Je grösser bei einer gegebenen Wechselzahl die Kugel ist, oder je höher die Wechselzahl gemacht wird, desto mehr wird die Kugel das Uebergewicht über die Spitze behalten. Nachdem aber eine gewisse Intensität der Wirkung nothwendig ist, damit die Strömung sichtbar werde, darf in dem beschriebenen Experiment die Kugel nicht allzu gross genommen werden.

„In Folge des Vorhandenseins der beiden vorhin erwähnten Bestrebungen, kann man mit Spitzen ähnliche Effecte hervorbringen, wie solche durch Capacität hervorgerufen werden. Wenn man beispielsweise ein Stück be-

---

[1]) Die Condensatorwirkung ist nämlich die grösste in dem Momente, wenn der Potentialwechsel am raschesten geschieht, d. i. wenn das Potential von Positiv in Negativ wechselt (durch Null geht). Dagegen ist die statische Wirkung oder das Bestreben, durch eine Spitze zu entweichen, am grössten, wenn das Potential den Maximalwerth hat, d. i. wenn kein Wechsel stattfindet. In diesem Momente aber (der dem höchsten und tiefsten Punkte der Welle entspricht) ist die Condensatorwirkung oder das Bestreben, durch eine Oberfläche die Energie zu zerstreuen, gleich Null. N. T.

[1]) G. Adler: „Allgemeine Sätze über die elektrostatische Induction" (Exner's Rep., Bd. 26, Heft 3, 1890); Elektrotechnische Zeitschrift 1890, Heft 18, ferner: Exner's Rep., Bd. 25, Heft 4; Elektrotechnische Zeitschrift 1890, Heft 22, auch Wiener Ber., Bd. 98, Abth. IIa, 1889.

schmutzten, bestaubten (soiled) Drahtes, welcher dem Entweichen oder der Verstreuung viel Gelegenheit bietet, an ein Spulenende anschliesst, so kann man hierdurch das Potential der Spule ebenfalls zu jener Höhe bringen, welche man erreichen würde, falls man eine glatt polirte Kugel von viel grösserer Oberfläche als jene des Drahtes, mit dem Spulenende verbände.

„Ein interessantes Experiment, welches den Effect der Spitzen zeigt, kann auf folgende Weise vorgenommen werden: Man verbinde ein ungefähr zwei Fuss langes, mit Baumwolle umhülltes Drahtstück mit dem einen Spulenende, und richte es so ein, dass sich auf dem Drahtstück Lichtausströmungen zeigen. (Bei diesem Experimente soll die Primärspule so angebracht sein, dass sie bloss zur Hälfte in die Secundärspule hineinragt.) Ist dies geschehen, berühre man das andere freie Spulenende mit einem in der Hand gehaltenen, leitenden Gegenstand, oder aber man verbinde es auf andere Weise mit einem isolirten Gegenstand von gewisser Grösse. Auf diese Weise kann das Potential am Drahtstück in enormer Weise erhöht werden. Die Ausströmungen werden sich dann entweder vermehren oder vermindern. Wenn sie sich vermehren, so zeigt dies, dass das Drahtstück zu kurz ist; vermindern sie sich, so ist es zu lang. Durch wiederholte Versuche kann eine Länge des Drahtstückes gefunden werden, bei welcher ein Berühren des anderen freien Spulenendes die Ausströmungen in keiner Weise beeinflusst. In diesem Falle wird der Erhöhung des Potentiales durch den Energieverlust in der Spule selbst entgegengewirkt. Man wird bemerken, dass kurze Längen Drahtes einen bedeutenden Unterschied in der Pracht und in der Leuchtkraft der Ausströmungen zeigen. Die Primärspule wird zweier Gründe wegen seitlich angebracht: erstens, um das Potential am Drahtstück zu erhöhen, und zweitens, um den Energieverlust durch die Spule zu vermehren; die Empfindlichkeit wird dadurch eine grössere.



**Die elektrische Flamme.** „Es giebt ferner noch eine andere augenfällige Eigenthümlichkeit der Lichtbüschel, welche durch Anwendung von Strömen hoher Wechselzahl hervorgerufen werden. Um diese Eigenthümlichkeit beobachten zu können, ist es am besten, die gewöhnlich in Schraubenklemmen endigenden Spulenpole an zwei Metallsäulen anzuschliessen, die durch sehr dicke Ebonitplatten isolirt werden. Man thut gut, alle Ritzen oder Schürfe mit Wachs zu verkleiden, damit sich die Lichtbüschel nicht anderswo, als auf der Spitze der Säulen, zeigen können. Wenn alle Bedingungen dazu vorhanden sind (was der Gewandtheit des Experimentirenden überlassen werden muss), dass das Potentiale enorm hoch werden könne, kann man mächtige, mehrere Zoll lange Lichtbüschel erzielen, welche beinahe weiss an ihrem Stiele sind und im Dunklen eine frappante Aehnlichkeit mit zwei Flammen eines Gases haben, das unter gewissem Druck hervorbricht (Fig. 43).

„Aber diese Lichtbüschel sind — sagt Tesla — nicht nur Flammen ähnlich, sondern sie sind auch wirkliche Flammen, weil sie heiss sind. Freilich sind sie nicht so heiss wie eine Gasflamme, aber sie würden es sein, wenn das Potential und die Wechselzahl genügend hoch

wären. Beträgt die Wechselzahl ungefähr zwanzigtausend pro Secunde, so wird die Wärme schon fühlbar, selbst wenn das Potential nicht ausserordentlich hoch ist. Als Ursache dieser Erwärmung ist der Anstoss der Luftmolecüle sowohl gegen die Spulenenden als gegeneinander selbst, anzunehmen.

„Nachdem bei gewöhnlichem Druck die freie Bahn der Molecüle ausserordentlich klein ist, ist es möglich, dass trotz der enormen Anfangsgeschwindigkeit, welche jedem Molecül gelegentlich seiner Berührung mit den Spulenenden ertheilt wird, die Fortbewegung desselben (in Folge Collision mit anderen Molecülen) in einem solchen Grade verzögert wird, dass es auf keine grosse Entfernung über das Spulenende hinaus gelangt; es mag dann zu wiederholtenmalen an das Spulenende anprallen. Je höher die Wechselzahl ist, desto weniger leicht kann sich das Molecül entfernen, und dieses Unvermögen wird um so grösser, als das für einen gegebenen Effect benöthigte Potential geringer ist. Man kann sich eine Wechselzahl vorstellen (und dieselbe vielleicht auch erreichen) bei welcher beinahe immer dieselben Molecüle an dasselbe Spulenende anprallen. Unter solchen Bedingungen würde der Austausch der Molecüle ein sehr langsamer, und die am Spulenende und nahe zum selben erzeugte Hitze eine ausser-

Fig. 43. Die elektrische Flamme.



ordentliche sein. Wenn aber die Wechselzahl noch fortwährend zunähme, so würde die hervorgerufene Hitze wieder aus leicht ersichtlichen Gründen abnehmen. Im positiven Lichtbüschel einer statischen Maschine ist der Austausch der Molecüle ein rapider, die Ausströmung hat immer dieselbe Richtung und in derselben finden weniger Collisionen der Molecüle statt: es muss also der Wärmeeffect ein geringer sein. Alles, was den Austausch der Molecüle verhindert, hat auch das Bestreben, die locale Erwärmung zu vermehren. Wird eine offene hohle Glaskugel über das Spulenende gehalten, so dass das Lichtbüschel davon eingeschlossen ist, so erwärmt sich die in der Kugel enthaltene Luft rasch in hohem Grade.

„Wenn ein Glasrohr in einer solchen Weise über das Lichtbüschel gehalten wird, dass der hierdurch entstehende Luftzug das Büschel nach oben richtet, so bricht aus dem oberen Ende des Rohres ein brennend heisser Luftstrom hervor. Jeder in das Büschel eingeführte Gegenstand erwärmt sich in rapider Weise, und die Möglichkeit, derartige Wärmeeffecte für praktische Zwecke zu verwenden, drängt sich dem Beobachter von selbst auf.

„Wenn man das Phänomen des heissen Lichtbüschels betrachtet — sagt Tesla weiter — kann man nicht umhin, daran zu glauben, dass ein ähnlicher Vorgang in der gewöhnlichen Flamme statthaben müsse, und es scheint befremdlich, dass wir erst jetzt, in der Aera der elektrischen Beleuchtung und Heizung, zur Erkenntniss gelangen, dass das Menschengeschlecht, seit es die Flamme kennt, immer „elektrisches Licht und

Wärme" zur Verfügung hatte. Es ist von nicht geringerem Interesse, darüber nachzudenken, dass wir auch mit Hilfe anderer als *chemischer* Mittel, die Möglichkeit besässen, eine wirkliche Flamme zu erzeugen, welche Licht und Wärme gäbe, ohne dass dieselbe durch eine Verbrennung oder durch einen chemischen Process hervorgerufen sein müsste, und dass wir ferner zur Erzielung eines solchen Resultates bloss ein Verfahren zur Erzeugung von enormen Potentialen und Wechselzahlen zu vervollkommnen hätten. Tesla zweifelt nicht daran, dass, „wenn man den Wechsel der Potentiale genügend

---

Dem Verfasser bekannte Literatur:

Andrews: „Fähigkeit gewisser Flammen und erhitzter Luft zur Elektricitätsleitung." Pogg. Ann. Band XLIII, p. 310.

Becquerel M.: „Sur l'Electricité aquise par les fils de métal plongés dans les flammes." Annales de Chimie et Physique, tome XXXVI, 1827, p. 328.

Elster und Geitel: „Ueber die Elektricität der Flamme." Wied. Ann. Band XVI, 1882, p. 193, 712. Band XXII, p. 213.

Fuchs: „Ueber die Nachweisungen von Alternationen der Elektricität mittelst der Flamme" Pogg. Ann. Band CLV, 1875, p. 252.

Herwig H.: „Ueber die sogenannte Unipolarität der Flammenleitung und über wirklich unipolare elektrische Erscheinungen." Wied. Ann. Band I, 1877, p. 516. — Bemerkungen hierüber von Braun, Wied. Ann. III, p. 436.

Kollert J.: „Ueber das Verhalten der Flammen in elektrischer Beziehung." Wied. Annalen, Band XXI, p. 244, Band XXII, p. 456.

Kundt A.: „Bemerkungen über den Durchgang der Funken des Inductoriums durch die Flamme." Pogg. Ann. Band CXXVIII, 1867, p. 159, 496.



rasch und kräftig machen könnte, das Lichtbüschel am Drahtende seine elektrische Charakteristik verlieren und einer wirklichen Flamme gleich werden würde." Die Flamme müsse auf elektrostatischer molecularer Wirkung beruhen.

Tesla ist gelegentlich seiner Londoner Experimente absichtlich wieder auf dieses Thema zurückgekommen. „Wenn man — sagt er — das Lichtbüschel in der Nähe betrachtet, ähnelt es einer unter hohem Druck hervorbrechenden Gasausströmung. Wir wissen, dass die Ursache des Phänomens auf die Bewegung der Molecüle nahe dem Spulenende zurückzuführen ist, und wir setzen voraus, dass sich in Folge der Anstösse der Molecüle gegeneinander oder gegen das Spulenende, Wärme erzeugen muss. Wir finden, dass das Lichtbüschel heiss ist, und wir

---

Macfarlane und Rintoul: The Effect of Flame on the electric Discharge. A paper read before the Royal Society of Edinburgh, March 1882. The Electrician, March 25, 1882, p. 303.

Neeff: „Ueber das Verhältniss der elektrischen Polarität zu Licht und Wärme." Pogg. Ann. Band LXVI, p. 414, Band LXIX, p. 141.

Petrina: „Einwirkung der Flamme auf die Spannungselektricität." Pogg. Ann. Band LVI, p. 459.

Riess: „Elektrische Dichtigkeit an verbrennenden flüchtigen Körpern." Abh. der kön. Akad. d. Wissensch. zu Berlin 1844, p. 28. Hinweis auf die Versuche von Gilbert (1628), Guericke (1672), Du Fay (1733), Winkler (1744), Waitz (1745), Du Tour (1745), Watson (1746), Franklin (1747), Jallabert (1749), Nollet (1753), Priestley (1766), Bennet und Volta (1787), A. v. Humboldt (1793), Bonnycastle (1829). „Kritisches über die elektrischen Eigenschaften der Flamme." Pogg. Ann. Band LXXI, p. 568.

kommen unwillkürlich auf die Vermuthung, dass wir, wenn wir nur genügend hohe Wechselzahl erreichten, ein solches Lichtbüschel herstellen könnten, das intensives Licht und Wärme gäbe, und welches in allen seinen Einzelheiten einer gewöhnlichen Flamme gliche: ausser es wären beide Flammen-Phänomene nicht durch dasselbe Agentium hervorgerufen, oder es wäre die Natur ihrer chemischen Affinität keine elektrische. — Nachdem nun Wärme und Licht aus dem Aufeinandertreffen der Molecüle oder Luftatome hervorgehen, und nachdem wir die Energie durch einfache Erhöhung des Potentiales vermehren können, so ist es uns möglich, die Hitze im Lichtbüschel (selbst mit der durch eine Dynamomaschine erreichbaren Wechselzahl) derart zu erhöhen, dass das Spulenende ins Schmelzen geräth. Mit so verhältnissmässig geringer Wechselzahl werden wir aber immer mit Etwas von der Natur eines elektrischen Stromes zu schaffen haben. Wenn wir dem Lichtbüschel einen leitenden Gegenstand nähern, springt wohl ein kleiner dünner Funke über, doch ist die Tendenz zur Funkenbildung keine grosse. Wird dem Lichtbüschel eine Metallkugel genähert, sieht man den Raum zwischen Spulenende und Kugel durch Ausströmungen erhellt, ohne dass ein Funken überspränge. Mit höherer Wechselzahl, wie solche durch Condensator-Entladungen erreicht wird, würde eine Funkenbildung (es wäre denn für plötzliche Impulse) überhaupt nicht vorkommen. Wäre aber eine unvergleichlich höhere Wechselzahl erreichbar (und es mag Mittel geben, dieselbe zu erreichen), und vorausgesetzt, dass solch hohe Wechselzahl mittelst



eines Leiters übertragbar wäre, so würden die elektrischen Merkmale des Lichtbüschels vollständig verschwinden, es würde sich kein Funke bilden, man würde keinen Schlag fühlen. Wir würden wohl mit einem elektrischen Phänomen zu schaffen haben, aber in der breiten modernen Auslegung des Wortes.[1])

**Beziehungen zur atmosphärischen Elektricität.**

„Dieses Phänomen erklärt nun — sagt Tesla weiter —

[1]) „Professor Crookes hat für diese Flammen eine jener einfachen Erklärungen gegeben, welche bloss darum überraschend sind, weil man nicht schon früher an dieselben gedacht hatte. Die Flamme ist eine wirkliche Flamme und besteht aus in der Luft brennendem Nitrogen, d. h. aus sich mit dem Sauerstoff der Luft verbindenden und Salpetersäure bildenden Nitrogen." Glücklicherweise findet die Verbindung des Oxigens mit dem Nitrogen nicht mit solcher Wärmeentwickelung statt, dass hierdurch die Verbrennung aufrecht erhalten würde, sonst würde, wie Professor Crookes meint, der erste Blitzschlag die Luft in Brand gesteckt und die Erde mit einem Meer von Salpetersäure überschwemmt haben. (The Electrician, July 1, 1892, p. 210.)

Dr. Lepel weist darauf hin, dass hochgespannte Entladungen in feuchter Luft von der Bildung salpetriger und Salpetersäure ($HNO_2$ und $HNO_3$) begleitet sind. Die erste Wirkung der Entladung scheint die Bildung von NO zu sein, welches sich augenblicklich in $N_2O_4$ umwandelt. Das letztere reagirt auf den Wasserdampf, Salpetersäure bildend und Nitrogenoxyd freigebend. Es wurde jedoch bemerkt, dass Funken, welche in gasförmigen Nitrogenoxyden auftreten, dieselben in ihre Grundelemente zersetzen. Es wird daher in einem gegebenen Raume bald eine gewisse Grenze erreicht, über welche hinaus keine Salpetersäurebildung mehr stattfindet. Dr. Lepel glaubt, dass es mit hochgespannten Entladungen möglich sei, Salpetersäure aus der Luft auf industriellem Wege herzustellen.

in einer kaum anfechtbaren Weise die häufig bei Gewittern vorkommenden Unfälle. Es ist bekannt, dass manche Objecte bei Gewittern zu brennen anfangen, ohne dass sie vom Blitz getroffen worden wären. Wir wollen ergründen, wie dies möglich sein kann. Es kann sich an einem Nagel in einem Dach, oder an irgend einer Hervorragung, welche entweder selbst leitend ist oder durch Feuchtigkeit leitend gemacht worden ist, ein mächtiges Lichtbüschel bilden. Wenn der Blitz irgendwo in der Nachbarschaft einschlägt, kann hierdurch das enorme Potential vielleicht mehrere millionenmale in der Secunde wechseln oder wogen gemacht worden sein. Die Luftmolecüle werden heftig angezogen und abgestossen, und rufen durch ihre Anstösse einen so grossen Wärmeeffect hervor, dass hierdurch ein Feuer entsteht. Man kann es begreiflich finden, dass auf diese Weise ein Schiff in See an mehreren Punkten zu gleicher Zeit zu brennen anfängt. Wenn wir berücksichtigen, dass schon mit der verhältnissmässig geringen Wechselzahl, welche wir mit einer Dynamomaschine erreichen können und mit Potentialen von nicht mehr als 100.000 oder 200.000 Volts, die erzielten Wärmeeffecte bedeutend sind, so können wir uns vorstellen, wie viel stärker die letzteren mit vielfach grösseren Potentialen und Wechselzahl sein müssen, und es erscheint die obige Erklärung ziemlich wahrscheinlich.

**Glühwirkung der elektrischen Flamme.** „Durch vollständige Verhinderung des Austausches der Luftmolecüle kann die locale Erwärmung so bedeutend gemacht



werden, dass hierdurch ein Körper glühend gemacht werden kann. Wenn beispielsweise ein kleiner Metallknopf oder, was vorzuziehen ist, ein sehr dünner Draht in eine Glaskugel eingeschlossen und mit dem einen Spulenende verbunden wird, kann er zum Glühen gebracht werden. Das Phänomen wird noch interessanter durch die kreisförmigen Schwingungen des glühenden Drahtendes, so dass das Ganze einem leuchtenden Kreisel (Fig. 44) gleicht, der sich ausweitet, wenn das Potential erhöht wird. Wenn das letztere gering ist, macht das Drahtende unregelmässige, plötzlich wechselnde Bewegungen, oder es beschreibt eine Ellipse. Wenn aber das Potential sehr hoch ist, beschreibt das Drahtende immer

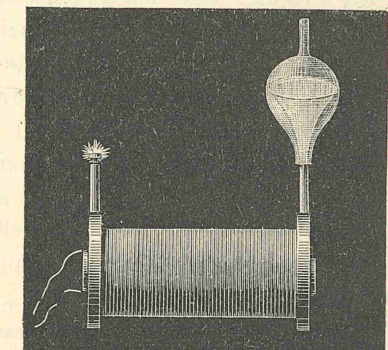


Fig. 44. Der leuchtende Kreisel.

Kreise. Diese Bewegungen werden verursacht durch das Aufeinandertreffen der Molecüle, und durch die Unregelmässigkeit in der Vertheilung des Potentials, welche aus der Rauhheit und Dissymetrie des Drahtes resultirt. Mit einem vollständig glatten und symmetrischen Drahte könnten ähnliche Bewegungen nicht hervorgerufen werden. Dass diese Bewegungen auf keine anderen Ursachen zurückzuführen sind, geht aus dem Umstande hervor, dass sie keine bestimmte Richtung

haben und im sehr luftverdünnten Raume vollständig aufhören.

**Verhältniss der Lichtmenge zur Wechselzahl und zum Potential.** Bei den vorhergehenden Experimenten ist es von bedeutendem Interesse zu wissen, in welchem Verhältniss die Lichtmenge zur Wechselzahl und zum Potential der elektrischen Impulse steht. Die Meinung Tesla's geht dahin: „dass die Wärme- und Lichteffecte dem Product aus der Wechselzahl und dem Quadrate des Potentials, proportional seien, doch ist die experimentale Beweisführung für dieses Gesetz ausserordentlich schwer. Eines ist gewiss: nämlich, dass mit der Zunahme der Wechselzahl und des Potentials die Lichtströme rapid intensiver werden, und es mag nicht als überschwengliche Hoffnung ausgelegt werden, wenn wir annehmen, dass es uns gelingen wird, auf diesem Wege eine praktische Beleuchtungsart herzustellen. Wir würden dann „Brenner" oder „Flammen" benutzen, in welchen kein chemischer Process, kein Verbrauch einer Materie, sondern bloss eine Energieumwandlung stattfindet, und welche wahrscheinlich mehr Licht und weniger Wärme entwickeln würden, als eine gewöhnliche Flamme." (Siehe S. 201.)

**Concentrirung der Lichteffecte.** Die Lichtintensität der beschriebenen Ausströmungen wird natürlich bedeutend vermehrt, wenn dieselben auf eine kleine Oberfläche concentrirt sind, was aus folgendem Experimente Tesla's hervorgeht: Ein kreisförmig gebogener Draht (Fig. 45) wird mit dem einen Spulenende leitend verbunden. An das andere Ende wird eine kleine Messingkugel be-



festigt. Die Oberfläche des Drahtes soll annähernd jener der Kugel gleich sein, und soll sich die Achse derselben im rechten Winkel zur Ebene des Drahtkreises und im Mittelpunkte derselben befinden. Wenn die Entladung stattfindet, so bildet sich ein hohler Lichtkegel und die eine Hälfte der Messingkugel wird glänzend hell.

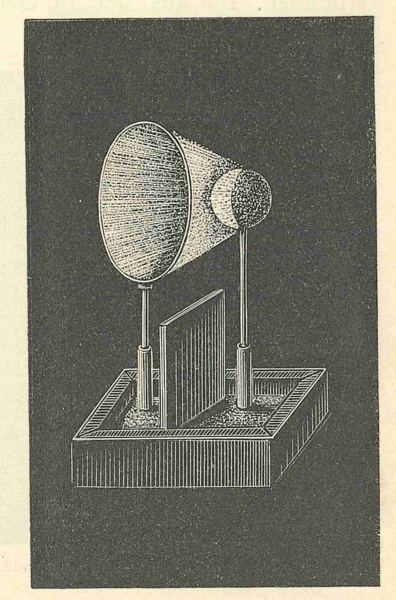


Fig. 45. Concentrirung des Lichteffectes.

Durch entsprechende Vorrichtungen kann man die Ausströmungen leicht auf kleine Oberflächen concentriren und hierdurch starke Lichteffecte hervorbringen. Man kann auf diese Weise zwei dünne Drähte glänzend leuchtend machen. Dies wird durch folgendes Experiment Tesla's erwiesen (Fig. 46). *R R* sind zwei Hartgummiplatten, auf welche zwei sehr dünne Drähte in Form eines Namenszuges aufgeklebt sind. Die Drähte können nackt oder ausgezeichnet isolirt sein — es ist dies für das Gelingen des Versuches ohne Bedeutung — doch sind gut isolirte Drähte vorzuziehen. Auf der Rückseite der Platten befindet sich eine Stanniolbelegung *t t*. Die

Platten werden in genügend weiter Entfernung voneinander aufgestellt, so dass das Ueberspringen eines Funkens zwischen beiden Drähten unmöglich ist. Die Stanniolbelegungen sind durch einen Leiter *C* miteinander verbunden. Die aus der in Oel getauchten Inductions-

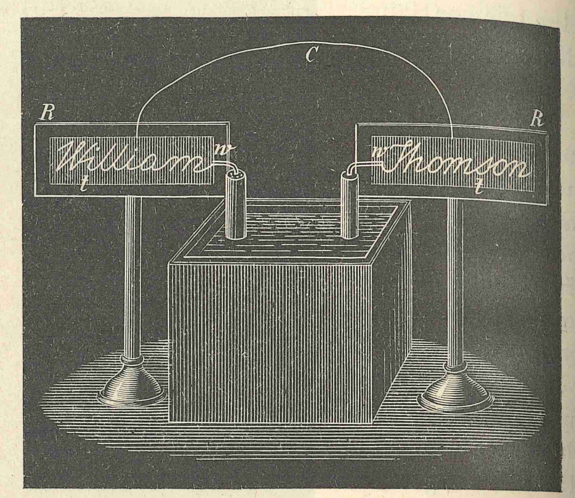



Fig. 46. Leuchtende Drähte.

spule aufsteigenden Drähte *w* werden an die Stanniolbelegungen geführt. Es ist nun leicht, durch entsprechende Veränderungen der Wechselzahl, den Punkt zu finden, in welchem die Capacität des Apparates den gegebenen Anforderungen entspricht, und die Drähte werden so stark leuchtend, dass der durch sie gebildete Namenszug in hellstem Glanz erstrahlt.



Ein anderes Experiment Tesla's ist folgendes: Aus dicken Drähten werden zwei Kreise gebogen. Der eine hat ungefähr 30 Centimeter, der andere 80 Centimeter Durchmesser. Die beiden Kreise befinden sich, wie aus Fig. 47 ersichtlich, in derselben Ebene, und sind mit den beiden Enden der Inductionsspule verbunden. Wenn die Entladung statthat, wird der Raum zwischen den beiden Kreisen mit Lichtströmen angefüllt, welche eine leuchtende Scheibe bilden.[1])

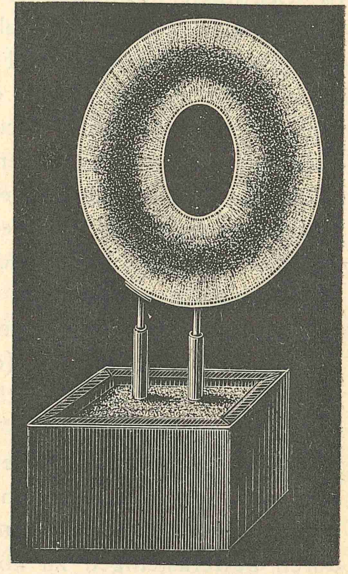


Fig. 47. Leuchtende Scheiben.

Tesla beschreibt noch folgendes Experiment: Er nimmt zwei dicke Glasröhren von beiläufig 5 Centimeter Durchmesser und 20 Centimeter Länge. In das Innere jeder Röhre wird eine aus dicken Drähten bestehende Primärwickelung eingeführt. Das Aeussere der

[1]) Das Aussehen dieser Lichtströmungen wird durch die Wechselzahl der Ströme sehr beeinflusst. Wenn die letztere eine geringe ist, bestehen die Lichtströmungen aus gesonderten mit kleinen Funken gemischten Fäden; wird aber die Wechselzahl eine ausserordentlich grosse, dann gewinnen die Strömungen ein einheitliches Aussehen.

Röhren wird mit je einer Secundärwickelung dünnen gut isolirten Drahtes umwunden. Diese werden auf Spannung geschaltet, während die Primärwickelungen parallel geschaltet sind. Die Röhren werden 10 bis 15 Centimeter voneinander entfernt, in ein grosses Glasgefäss auf Isolatoren gelegt, und das Gefäss wird mit gut ausgekochtem Oel derart gefüllt, dass das letztere die Röhren etwa einen Zoll hoch bedeckt. Die freien Enden der Secundärwickelung ragen aus dem Oel hervor, doch werden ihre blanken Spitzen in das Oel zurückgeführt. Wenn nun zwei auf Spannung geschaltete Leydener Flaschen in die Primärwickelung entladen werden, bildet sich zwischen den, ungefähr 10 Centimeter voneinander entfernten, hervorragenden Enden der Secundärwickelung ein Lichtband, das vollständig einförmig aussieht (ohne Streifen oder Funken) wie eine gewöhnliche Entladung in einer luftleeren Röhre. (Siehe S. 11.)

„Der Zweck dieses Experimentes war, zu erweisen, dass ein Gas keineswegs in verdünntem Zustand sein müsse, um leuchtende Entladungen durch dasselbe hindurch bewerkstelligen zu können. Das Gas kann unter gewöhnlichem oder auch höherem Drucke sein. Es ist hohe Wechselzahl und wohl auch hohes Potential zu solchen Entladungen erforderlich, doch ist ein hohes Potential nur zufälligerweise nothwendig. Diese Experimente lehren uns, dass wir in jenen unserer Bemühungen, durch Bewegungen von Gasatomen oder -Molecülen Licht zu erzeugen, uns nicht auf die Vacuumröhren zu beschränken haben,



sondern dass wir ganz ernsthaft an die Lösung des Problems gehen können, Lichteffecte in freier Luft, ohne irgend eine Umhüllung (Gefäss, Hohlkugel u. s. w.) hervorbringen zu können."

**Die Aurora borealis.** „Entladungen von sehr hoher Wechselzahl, welche die Luft unter gewöhnlichem Druck zum Leuchten bringen, mögen in der Natur oft wahrnehmbar sein. Wird die Aurora borealis — wie Manche annehmen — durch plötzliche cosmische Störungen (wie z. B. Eruptionen an der Sonnenoberfläche) hervorgerufen, welche die elektrostatische Ladung der Erde in ausserordentlich rapide Vibrationen versetzen, so ist — wie Tesla meint — die hierbei wahrnehmbare Rothglut nicht auf die oberen verdünnten Luftschichten beschränkt, sondern die Entladung geht in Folge ihrer rapiden Wechselzahl auch durch die dichte Atmosphäre, und zwar in der Form eines Glühens, wie wir es gewöhnlich in Vacuumröhren bei leichter Luftverdünnung hervorrufen.*) „Wäre die Wechselzahl

*) Vergleiche die alten Beobachtungen von Farqhardsen, Perry, Franklin, Canton, Stark, Fox, Bache, Brown T. A., Hansteen, Stewart B., Graves J., Fahie u. s. w. — Siehe unter den neueren: Lemström: „Om polarljuset", Stockholm, 1886. — Poulsen: „Résumé de l'expédition danoise", Copenhagen, 1884. — Edlund; „Considérations sur certaines théories rélatives à l'électricité atmosphérique". Annales de Chimie et de Physique, tome XIV, p. 169. — Stassano: „Nuova conferma della teoria atmosferica delle Aurore polari." Atti della Reale Academia dei Lincei, 1889, volume V, p. 210. — Rowland: „A new theory of the Aurora."

der Entladung eine sehr geringe, oder wäre die Ladung der Erde im Ruhezustande, so würde die dichte Atmosphäre von der Entladung, wie bei einem Blitz, durchschlagen werden. Anzeichen von einem solchen Durchschlag der dichteren Luftschichten sind als Begleitung des Nordlichtes öfters wahrgenommen worden. Wenn der Durchschlag aber wirklich stattfindet, so kann er bloss den fundamentalen Störungen zugeschrieben werden, deren Anzahl aber nur gering ist, denn anderenfalls würde die Rapidität der von ihnen hervorgerufenen übereinander geschichteten Schwingungen eine solche grosse sein, dass kein Durchschlag möglich wäre. Wahrscheinlich sind es bloss die ursprünglichen und irregulären Impulse, welche auf die Beobachtungsinstrumente einwirken, während die übereinander geschichteten Schwingungen mittelst selben unnachweisbar sind.

„Entladungen von mässiger Wechselzahl, welche in leicht verdünnter Luft hervorgerufen werden, verleihen derselben einen Purpurschimmer. Wenn wir nun

---

Philosophical Magazine, August 1879. — The Electrician, August 16, 1879, p. 153. — Edlund: „Aurora Borealis." Annales de Chimie et de Physique, tome XVI, p. 49, 107. — Warren de la Rue: „Beitrag zur Theorie der Aurora Borealis." The Electrician, June 17, 1882, p. 101. — Oliver: „Aurora Borealis und magnetic storms." Nature, 19. Aug. 1880, p. 361. — Adams: „Magnetic disturbances, Auroras etc." Lecture delivered at the Royal Institution, June 3, 1881. — Tunzelmann: „Aurorae, magnetic storms and sunspots." The Electrician, Volume XII, p. 425.



durch irgend ein Mittel die Intensität der molecularen oder atomischen Schwingungen vermehren, nimmt die verdünnte Luft einen weissen Schimmer an. Elektrische Impulse von sehr hoher Wechselzahl rufen ähnliche Verwandlungen bei *gewöhnlichem* Luftdruck hervor. Wenn die einen Draht umgebenden Molecüle in mässige Vibration versetzt werden, so wird das Lichtbüschel röthlich oder violett; wird aber die Vibration genügend intensiv gemacht, so wird das Büschel weiss. Diese Veränderungen können auf verschiedene Weise hervorgerufen werden. In dem Experimente (Seite 156) mit den zwei im Raume gespannten, sich mit Glimmlicht bedeckenden Drähten, wurden sowohl Wechselzahl als Potential auf eine bedeutende Höhe gebracht. In dem Experimente mit den an eine Hartgummiplatte aufgeklebten dünnen Drähten (Seite 174) wurde die Wirkung auf eine sehr kleine Oberfläche concentrirt, d. h. die elektrische Dichtigkeit wurde zu einer grossen gemacht.

**Das elektrische Phantom.** „Eine eigenthümliche Lichterscheinung tritt auf, wenn sowohl die Wechselzahl als auch das Potential auf die möglichst hohe Stufe gebracht worden sind. Bei diesem Experiment soll jeder Theil der Inductionsspule auf das sorgfältigste isolirt sein, und sollen bloss zwei scharfgeschliffene Metallscheiben *d d* (Fig. 48) von einigen Centimetern Durchmesser, der freien Luft ausgesetzt sein. Da in diesem Falle Körper von nur geringer Capacität an die Spulenenden angeschlossen sind, kann die Spule ausserordentlich rapide Vibrationen hervorbringen. Das Potential kann durch ein entsprechendes Transformationsverhältniss des Primärkreises

erhöht werden. Bei Durchführung des Experimentes brechen aus den Schneiden der Scheiben weisse Ausströmungen von bedeutender Länge hervor. Man verspürt nichts, wenn man die Hand gegen dieselben hält, und es springt nur dann ein Funke vom Spulenende auf die Hand

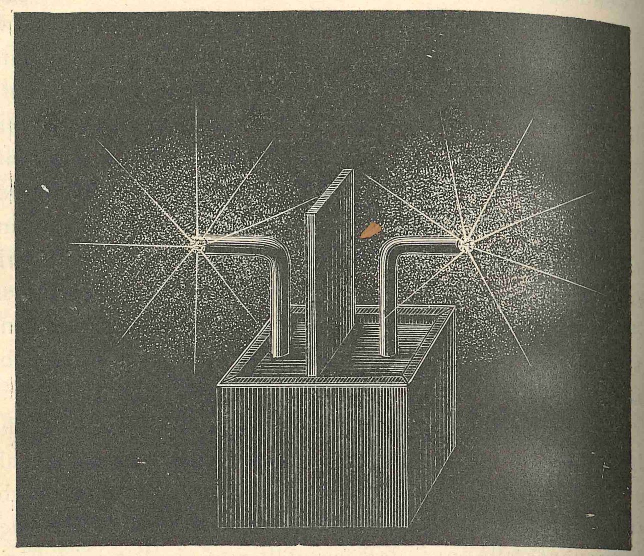


Fig. 48. Leuchtende Phantome.

über, wenn diese dem letzteren sehr nahe gebracht wird. Wird die Oscillation des Primärstromes intermittirend gemacht, so entsteht ein entsprechendes Zucken der Ausströmungen, und die Hand kann dem Spulenende noch näher gebracht werden, ohne dass ein Funke zwischen beiden durchschlüge.



## Lampen mit Leuchtkörpern.

**Das glühende Gas.** „Man könnte versucht sein — sagt Tesla — zu glauben, dass in einer elektrostatischen Glühlampe, welche im ersten Abschnitte dieses Buches, Seite 75, angedeutet wurde, das Haupterforderniss ein möglichst intensives Glühen der Elektrode sei. Dies wäre ein Irrthum. Das hohe Glühen des Leuchtkörpers ist ein nothwendiges Uebel; was wirklich gewünscht wird, ist: ein hohes Glühen des den Leuchtkörper umgebenden *Gases*, oder in anderen Worten: in einer solchen Lampe ist das Problem gegeben, eine Gasmasse auf den möglichst höchsten Glühgrad zu bringen. Je höher das Glühen, je rascher die Hauptvibration ist, desto grösser wird der Nutzeffect der Lichterzeugung sein. Hierbei ist es nothwendig, das glühende Gas von den Wänden des Glaskörpers entfernt zu halten, d. h. dasselbe auf das Innere des Lampenkörpers zu concentriren.

„In einem meiner Experimente — sagt Tesla weiter — wurde an einem Drahtende ein Lichtbüschel hervorgerufen. Dieses Büschel war eine Flamme — eine Quelle von Wärme und Licht. Sie strahlte wenig bemerkbare Wärme aus, auch leuchtete sie nicht besonders hell — war sie aber deswegen weniger eine Flamme, weil sie meine Hand nicht verbrannte? War sie deshalb weniger eine Flamme, weil sie mich nicht blendete? . . . . Das oben erwähnte Problem besteht nun darin, in einer Glaskugel eine ähnliche Flamme hervorzurufen, die zwar kleiner von Aussehen, jedoch viel kräftiger wäre. Besässen wir die Mittel, elektrische Impulse von genügend

grosser Wechselzahl zu erzeugen und dieselben in die Ferne zu übertragen, so könnten wir die Glaskugel ganz entbehren, ausser sie diente bloss dazu, um die Elektrode zu schützen oder die Hitze zu concentriren. Nachdem wir aber solche Mittel nicht besitzen, wird es nothwendig, die Elektrode in einen Lampenkörper einzuschliessen und die Luft in demselben zu verdünnen. Das letztere geschieht bloss deshalb, damit der Apparat seine Bestimmung erfüllen könne, was er unter gewöhnlichem Luftdruck nicht im Stande wäre. Wir können die Wirkung im Leuchtkörper nach Belieben vermehren, so dass das Büschel ein intensiveres Licht ausstrahle.

**Bedingungen für die Intensität des Lichtes.** „Die Intensität des hervorgerufenen Lichtes hängt hauptsächlich von der Wechselzahl und vom Potential der Impulse, sowie von der elektrischen Dichtigkeit auf der Oberfläche der Elektrode ab. Es ist von Wichtigkeit, einen möglichst kleinen Leuchtkörper anzuwenden, um die Dichtigkeit so hoch als möglich zu bringen. Unter dem heftigen Anprall der den Leuchtkörper umgebenden Gasmolecüle wird derselbe natürlich auf eine ausserordentlich hohe Temperatur gebracht, aber um ihn herum befindet sich eine Masse hoch glühenden Gases, eine Flamme oder Photosphäre von hundertfach grösserem Volumen als jenes der Elektrode. Mit einem Leuchtkörper aus Diamant, „Carborundum" oder Zirconia, kann die Photosphäre das Tausendfache des Elektrodenvolumens ausmachen. Man könnte nun geradehin meinen, dass bei so hoher Glühhitze der Leuchtkörper augenblicklich volatilisirt würde. Nach eingehender Betrachtung aber finden wir, dass dies theoretisch eben nicht stattfinden müsse, und in diesem Umstand — der experimentell bewiesen wurde — liegt hauptsächlich der zukünftige Werth einer solchen Lampe.



„Im Anfang, wenn das Anprallen der Molecüle beginnt, wird die Arbeit zum grössten Theile auf der Oberfläche des Leuchtkörpers verausgabt; sobald sich aber eine gut leitende Photosphäre gebildet hat, wird der Leuchtkörper verhältnissmässig entlastet. Je höher das Glühen der Photosphäre ist, desto mehr kommt die Leitungsfähigkeit derselben jener der Elektrode nahe, und desto mehr bilden der feste Körper und das Gas einen einzigen leitenden Körper. Die Folge dieses Vorganges ist, dass, je intensiver das Glühen wird, desto mehr Arbeit von der Photosphäre und desto weniger von der Elektrode geleistet wird. Die Bildung einer mächtigen Photosphäre ist also das eigentlichste Schutzmittel für die Elektrode. Dieser Schutz ist natürlich ein relativer, und es sollte nicht angenommen werden, dass durch fortschreitende Erhöhung der Glühwirkung die Elektrode um desto weniger beschädigt werde. Theoretisch sollte dieses Resultat mittelst enorm hoher Wechselzahl wohl erreicht werden: freilich bei einer Temperatur, welche für alle bekannten feuerbeständigen Körper zu hoch wäre.

**Erglühen der Leuchtkörper durch einfache Condensatorwirkung.** Tesla hatte sich die Frage gestellt, ob zwei Körper aus feuerbeständigem Material, einge-

schlossen in eine Glaskugel, in welcher ein solch hohes Vacuum hergestellt wurde, dass es von dem Funken einer grossen Inductionsspule nicht durchschlagbar ist, durch einfache Condensatorwirkung glühend gemacht werden könnten. Um ein solches Resultat anzustreben, bedarf man vor Allem einer Stromquelle von enormem Potential und sehr hoher Wechselzahl.

Eine solche Lampe würde — dachte sich Tesla — was Nutzeffect anbelangt, vor einer gewöhnlichen Glühlampe grosse Vortheile besitzen. „Es ist bekannt, dass der Nutzeffect einer Lampe bis zu einer gewissen Grenze von der Intensität des Glühens oder der Hitze abhängt, und dass der Nutzeffect desto grösser wäre, je intensiver wir den Kohlenfaden erglühen machen könnten. In einer gewöhnlichen Glühlampe kann man wegen der eintretenden Zerstörung des Kohlenfadens, nicht über einen gewissen Hitzegrad hinausgehen. Es ist unmöglich, vorauszubestimmen, um wie vieles der Nutzeffect höher werden würde, wenn der Kohlenfaden der Zerstörung widerstände — aber man hat guten Grund anzunehmen, dass in diesem Falle der Nutzeffect bedeutend höher würde. Man könnte anstatt der gebräuchlichen dünnen Fäden ein kurzes dickes Kohlenstück anwenden; es müssten aber dann auch die Leitungsdrähte dicker werden, und giebt es ausser diesem Grunde auch noch eine Menge anderer, welche eine derartige Modification unausführbar erscheinen lassen.

In einer Glühlampe jedoch, wie sie oben gedacht wird, können die Zuleitungsdrähte sehr dünn sein; das ins Glühen zu bringende Material kann eine Form haben, welche wenig



strahlende Oberfläche darbietet, so dass weniger Energie nothwendig wäre, um dasselbe auf dem gewünschten Glühgrade zu erhalten. Das Material brauchte nicht Kohle zu sein; es könnte beispielsweise aus einer Mischung von Oxyden mit Kohle hergestellt werden, oder es könnten Körper gewählt werden, welche schlechte Leiter sind und ausserordentlich hohen Temperaturen widerstehen können.

Die Herstellung eines *kleinen* Leuchtkörpers, welcher ausserordentlich hohen Temperaturen widerstehen könnte, ist für die Lichterzeugung von grösster Wichtigkeit. Tesla glaubt, dass wir mittelst Strömen von hoher Wechselzahl, bei nämlichem Energieaufwand, eine zwanzigfach grössere Lichtmenge erzeugen könnten, als jene einer gewöhnlichen Glühlampe.

Tesla's Versuche haben erwiesen, dass mit Strömen hoher Wechselzahl die Leuchtkörper mit weit niedrigeren Potentialdifferenzen auf hohe Glühhitze gebracht werden konnten, als jene, welche nach den Berechnungen anzuwenden gewesen wären. Auch können in Lampen mit doppelten Elektroden diese letzteren weiter voneinander gesetzt werden, als ursprünglich vorausgesetzt werden konnte.

**Verhütung von Energieverlusten.** „Um den in einen Lampenkörper eingeschlossenen Leuchtkörper zum Glühen zu bringen — sagt Tesla weiter — ist es wünschenswerth, dass alle der Lampe von der Stromquelle zugeführte Energie dem Leuchtkörper ohne Verlust übermittelt werde. Sie soll von dem Leuchtkörper und von nichts anderem ausstrahlen. Diese theoretische Bedingung kann natürlich nie erreicht werden, aber man kann ihr durch entsprechende Anordnung der Lampe nahe kommen.

„Der im Mittelpunkte der Lampe befindliche Leuchtkörper befindet sich gewöhnlich auf einem Glashälter, in welchen der Leitungsdraht eingeführt wird. Nachdem das Potential dieses Drahtes wechselt, so findet von ihm aus eine inductive Einwirkung auf das den Hälter umgebende verdünnte Gas statt: die Molecüle prallen heftig an den Glashälter und erwärmen denselben. Besonders bei hoher Wechselzahl kann auf diesem Wege viel Energie verloren gehen. Um diesem Nachtheile vorzubeugen, oder um den Verlust auf ein Minimum zu beschränken, umgiebt Tesla den Glashälter mit einer Schicht leitenden Materiales, und schliesst auf diese Weise das den Hälter umgebene Gas von der inductiven Wirkung des Leitungsdrahtes ab. Aluminium scheint unter allen Metallen für diesen Behuf am geeignetsten zu sein. Gewöhnlich wird eine aus dünnstem Aluminiumblech angefertigte Röhre auf den Hälter aufgeschoben.[1])

**Das Anprallen der Molecüle.** „Das Anprallen der Molecüle gegen den Glashälter in der Lampenkugel, ist eine Quelle vieler Unannehmlichkeiten. Als ein Beispiel einer solchen mag ein Phänomen dienen, welches man nur zu oft, und leider, ohne es zu wollen, beobachten kann. In eine Lampenkugel wird ein gut leitender Körper, beispielsweise ein Kohlenstück, mittelst eines Platindrahtes eingeführt, welcher in den Glashälter eingeschmolzen wird. In der Glaskugel wird ein ziemlich hohes Vacuum hergestellt, und zwar bis zu einem Punkte, an welchem sich Phosphorescenz zu zeigen beginnt. Wenn nun die Lampenkugel mit der Inductionsspule verbunden wird, so wird das Kohlenstück, wenn es klein ist, zuerst intensiv glühend werden, dann aber nimmt das Licht schnell ab und es kommt dann vor, dass die Ladung durch das Glas, ungefähr in der Mitte des Glashälters, in Form von glänzenden Funken durchschlägt, obwohl der Platindraht vermittelst des Kohlenstückes mit dem verdünnten Gase in guter elektrischer Verbindung ist. Die zuerst auftretenden Funken sind eigenthümlich glänzend, an die von einer glatten Quecksilberfläche erhältlichen Funken erinnernd. Nachdem dieselben aber das Glas rapid erhitzen, verlieren sie natürlich ihren Glanz und verschwinden ganz, wenn das Glas an der durchbrochenen Stelle glühend oder genug heiss wird, um leitend zu werden.

[1]) Ausführliche Details über Anfertigung und Anbringung der Röhre sind im „Electrical World", Vol. XIX, Nr. 19, p. 316, nachzulesen. — Siehe auch: Ebert und Wiedemann: „Versuche über elektrodynamische Schirmwirkungen." Wied. Ann. Band XVIX, 1893. „Elektrotechn. Zeitschrift", 1893, Heft 24, p. 347.



Wenn man dieses Phänomen zuerst beobachtet, erscheint es sehr interessant und zeigt, wie radical verschieden das Verhalten von Strömen oder Impulsen hoher Wechselzahl, im Vergleiche zu jenem continuirlicher Ströme ist, mit welch letzteren sich dieses Phänomen natürlich nicht ereignen könnte. Bei einer Wechselzahl, wie solche mit mechanischen Mitteln erhalten wird, kann das Durchschlagen des Glases mehr oder weniger eine Folge des Anprallens der Molecüle sein, durch welches das Glas erwärmt und seine Isolationsfähigkeit aufgehoben wird; bei einer mittelst Condensatoren erhältlichen Wechselzahl aber kann kein

Zweifel darüber bestehen, dass das Glas auch ohne vorhergehende Erwärmung durchschlagen wird. Die dem Zuleitungsdrahte übermittelte Energie wird theilweise direct an das Kohlenstück abgegeben, theilweise aber durch Induction mittelst des den Draht umgebenden Glases, verbraucht. Es ergiebt sich also der Fall eines Condensators, welcher durch einen Leiter von geringem Widerstande kurz geschlossen, mit einer Wechselstromquelle verbunden ist. So lange die Wechselzahl gering ist, erhält der Leiter die meiste Energie, sobald aber die Wechselzahl ausserordentlich gross wird, ist die Rolle des Leiters eine unbedeutende. In letzterem Falle kann die Potentialdifferenz an den Condensatorpolen so gross werden, dass das Dielektricum durchschlagen wird, trotzdem die Pole durch einen Leiter von geringem Widerstande kurz geschlossen sind.

**Die Schirmwirkung.** „Der Wirkungsgrad einer als elektrostatische Beschirmung angewendeten Metallröhre hängt hauptsächlich von dem Grade der Luftleere in der Lampenkugel ab. Bei ausserordentlich hohem Vacuum, wenn sich die Materie in der Kugel in strahlendem Zustande befindet, ist die Schirmwirkung am vollkommensten. Es zeichnet sich dann der Schatten der oberen Schneide der Röhre scharf auf der Lampenkugel ab.

„In etwas geringerem Vacuum, welches als „undurchschlagbares" bezeichnet wird, und überhaupt so lange, als sich die Materie in vorherrschend geraden Linien bewegt, ist die Schirmwirkung eine gute.[1])

[1]) Es muss hier bemerkt werden, dass das, was unter gewöhnlichen Umständen, bei Erregung einer Inductionsspule mit Strömen geringer Wechselzahl als „undurchschlagbares Vacuum" angesehen wird, dies zu sein aufhört, sobald Ströme hoher Wechselzahl in Anwendung kommen. In letzterem Falle kann die Entladung mit grösster Leichtigkeit durch verdünntes Gas gehen, während dies bei Strömen niederer Wechselzahl, selbst wenn das Potential auch viel höher wäre, nicht geschehen könnte. Bei gewöhnlichem Druck kehrt sich das Verhältniss um: Je höher die Wechselzahl ist, desto schwieriger schlägt der Funke die Strecke zwischen den Polen durch, besonders wenn dieselben Knöpfe oder Kugeln ziemlicher Grösse sind.



„Bei sehr niederem Vacuum, wenn das Gas gut leitend ist, wirkt die Metallröhre nicht nur nicht als elektrostatischer Schirm, sondern geradezu als ein Nachtheil, weil sie der Energieverstreuung längs des Zuleitungsdrahtes Vorschub leistet.

„Ist die Metallröhre mit dem Drahte in guter elektrischer Verbindung, so richtet sich auch der grösste Theil des Anpralles der Molecüle gegen die Metallröhre. Ist die elektrische Verbindung keine gute, so bleibt die Röhre immerhin von einem gewissen Vortheile, weil sie, trotzdem sie nicht viel Energieersparung bewirkt, dennoch den Hälter des Leuchtkörpers beschirmt und als ein Mittel zur Concentrirung einer grösseren Energie auf den letzteren dient. In was immer für einem Maasse auch die Metallröhre als ein Schirm dienen mag, so bleibt ihr Nutzeffect doch auf sehr hohes Vacuum beschränkt, d. h. wenn das Gas als Ganzes nicht leitend ist und die Molecüle oder Atome als unabhängige Träger elektrischer Ladungen wirken.

**Die Dämpfwirkung.** „Die Metallröhre kann, ausser ihrer Schirmwirkung, in Folge ihrer Leitungsfähigkeit

auch als ein Dämpfer auf das gegen den Glashälter stattfindende Anprallen der Molecüle einwirken. Nehmen wir an, dass in Folge der unvollkommenen Schirmwirkung der Metallröhre ein rhythmisches Anprallen der Molecüle gegen die Röhre stattfände, so muss es unbedingt geschehen, dass einige Molecüle oder Atome auf die Röhre früher aufprallen, als die anderen Atome. Jene, welche eher mit der Röhre in Contact kommen, geben ihre überflüssige Ladung ab und die Röhre elektrisirt sich, indem sich die Elektrisirung augenblicklich über ihre ganze Oberfläche verbreitet. Dieser Vorgang muss aber den durch das Anprallen stattfindenden Energieverlust aus zwei Gründen verringern, nämlich: Erstens verstreut sich die von den Atomen abgegebene Ladung über eine grosse Fläche; es ist demzufolge die elektrische Dichtigkeit an allen Punkten gering und die Atome werden mit weniger Gewalt abgestossen, als dies der Fall wäre, wenn sie an einen guten Isolator anprallten. Zweitens: nachdem die Röhre durch die mit ihr zuerst in Contact kommenden Atome elektrisirt ist, wird die Annäherung der nachfolgenden Atome an die Röhre mehr oder minder durch die Abstossung aufgehalten, welche die elektrisirte Röhre auf die in gleichem Sinn elektrisirten Atome ausüben muss. Diese Abstossung mag vielleicht genügend sein, um einen grossen Theil der Atome vom Aufprallen an die Röhre abzuhalten; in jedem Falle aber verringert sie die Energie des Anpralles derselben. Es ist klar, dass sich bei niederem Vacuum, wenn das Gas gut leitend ist, keine der beschriebenen Wirkungen einstellen kann, während anderenfalls, je geringer die



Anzahl der Atome ist und mit je grösserer Leichtigkeit sich dieselben bewegen (d. h. je höher das Vacuum ist), die Wirkungen augenscheinlicher werden.

Was Tesla eben gesagt, mag als eine Erklärung des von Professor Crookes beobachteten Phänomens gelten, nämlich, dass sich in einer hohlen Glaskugel eine Entladung leichter hervorrufen lässt, wenn in derselben ein Isolator anstatt eines guten Leiters vorhanden ist. Wie es scheint, wirkt der Leiter als ein Dämpfer in den beiden oben angegebenen Weisen auf die Atome ein; es muss daher, um bei Vorhandensein eines Leiters eine Entladung in der Kugel bewerkstelligen zu können, ein viel höheres Potential angewendet werden, als jenes, welches bei Vorhandensein eines Isolators nothwendig wäre.

In Fig. 49 ist eine Lampenkugel gezeigt, wie solche von Tesla häufig angewendet werden. Der Glashälter $s$ enthält den Zuleitungsdraht $w$, auf welchem ein Kohlenfaden $l$ befestigt ist, welcher dem Leuchtkörper $m$ als Hälter dient. $M$ ist eine dünne Glimmerschicht, welche mehreremale um den Glashälter $s$ gewunden ist, und $a$ ist die als Schirm dienende Aluminiumröhre.

In Fig. 50 wird eine etwas mehr vervollkommnete Lampenkugel gezeigt. Auf den Lampenhals wird eine Metallröhre $S$ aufgeschleift, welche durch einen Stöpsel $P$ aus Isolirmaterial abgeschlossen wird, in dessen Mitte sich eine Metallelektrode $t$ befindet. An diese letztere wird der Zuleitungsdraht $w$ angeschlossen und der Zwischenraum zwischen Röhre und Lampenhals mit

einem pulverförmigen Isolirmaterial ausgefüllt. Fig. 51 ist eine Experimentallampe, in welcher die Aluminiumröhre mit einer äusserlichen Anschlussstelle versehen ist, welche gestattet, die Wirkung der Röhre unter verschiedenen Bedingungen zu erproben.

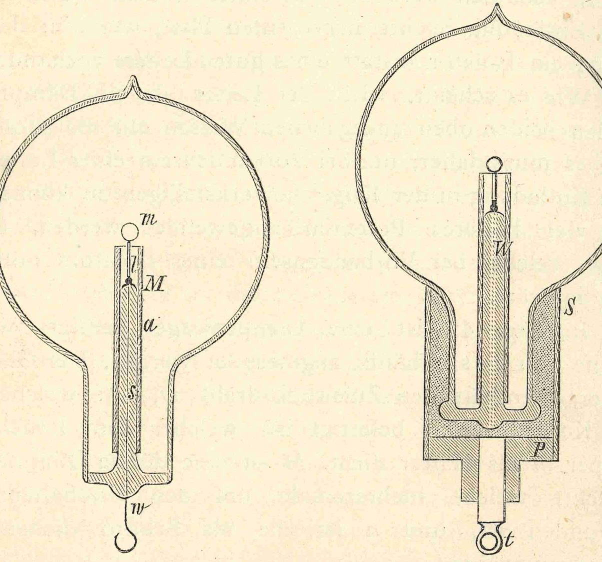



Fig. 49. Lampe mit Glimmerröhre und Aluminiumschirm.

Fig. 50. Verbesserte Lampe mit Halter und Schirm.

Nachdem das Anprallen der Molecüle, welches gegen den den Leitungsdraht enthaltenden Glashälter stattfindet, eine Folge der inductiven Einwirkung des Drahtes auf das verdünnte Gas ist, ist es von Vortheil, diese Einwirkung dadurch so weit als möglich zu verringern, dass man einen sehr dünnen Draht anwendet, welcher



von einer sehr dicken Isolation umgeben ist, und ferner dadurch, dass der in dem verdünnten Gas befindliche Theil des Drahtes so kurz wie möglich gemacht wird, wie dies aus Fig. 52 hervorgeht. *T* ist eine weite Glas-

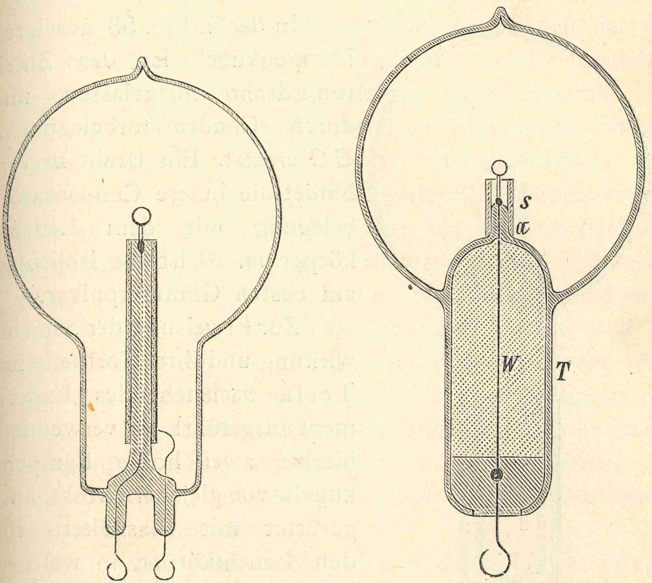



Fig. 51. Lampe für Experimente mit leitendem Rohr.

Fig. 52. Verbesserte Lampe mit nichtleitendem Leuchtkörper.

röhre, welche etwas in die Lampenkugel hineinragt. *s* ist ein kurzer Glashälter, in welchem der Leitungsdraht *w* eingeschmolzen ist, *a* ist eine kleine Aluminiumröhre, welche auf einer Glimmerschicht aufruht. Die weite Glasröhre *T* wird mit Pulver aus Isolirmaterial ausgefüllt. Wird diese Vorsicht nicht gebraucht, so kann

man sicher ein Zerbersten der Röhre gewärtigen, welches dadurch erfolgt, dass sich in Folge der Lichtbüschel, welche sich am oberen Ende der Röhre (besonders in gutem Vacuum) bilden können, die Röhre erwärmt.

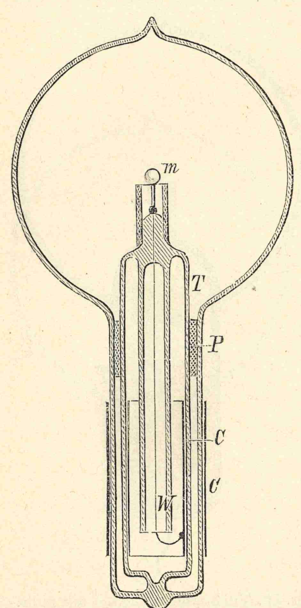


Fig. 53. Lampe ohne Leitungsdraht.

In der in Fig. 53 gezeigten Lampenkugel ist der Zuleitungsdraht fortgelassen und durch Condensatorbelegungen *C C* ersetzt. Ein Draht *w* verbindet die innere Condensatorbelegung mit dem Leuchtkörper *m*. *P* ist die Isolirung, am besten Glimmerpulver.

Zur Erweisung der Schirmwirkung und ihrer Vortheile hat Tesla nachstehendes Experiment ausgeführt. Er verwendete hierbei zwei hohle Lampenkugeln von gleicher Grösse, ausgerüstet mit Glashältern für den Leuchtkörper, in welchen der Zuleitungsdraht eingeschmolzen war. Einer der Glashälter war mit einer Aluminiumröhre umgeben, während dieselbe auf dem anderen Hälter fehlte. Die Lampenkugeln waren ursprünglich mittelst einer an eine Sprengel'sche Luftpumpe angeschlossenen Glasröhre, miteinander verbunden. Nach Herstellung des Vacuums in den Lampenkugeln wurde



die Verbindungsröhre abgeschmolzen, und es lässt sich annehmen, dass das Vacuum in beiden Kugeln dasselbe war. Wenn dieselben nun nacheinander mit einer Inductionsspule verbunden wurden, wurde der Kohlenfaden, dessen Hälter mit dem Aluminiumschirm versehen war, weissglühend, während der Faden in der anderen Kugel kaum rothglühend wurde, trotzdem gewöhnlich in dieser Glaskugel mehr Energie absorbirt wird als in der ersteren. Wenn beide Kugeln zusammen mit einem Pol der Inductionsspule verbunden wurden, trat der Lichtunterschied noch augenscheinlicher hervor. Nach Tesla übt die auf den, den Leitungsdraht enthaltenden Glashälter aufgeschleifte Metallröhre, zweierlei Wirkungen aus. Erstens wirkt sie mehr oder weniger als ein elektrostatischer Schirm und bewirkt hierdurch eine Energieersparung. Zweitens wirkt sie, falls ihre elektrostatische Action ungenügend sein sollte, auf mechanischem Wege, indem sie das Anprallen der Molecüle an den Kohlenfaden und Glashälter, und damit auch die intensive Erwärmung und Beschädigung derselben, verhindert.

Das Anprallen der Molecüle an den Lampenkörper ist ebenfalls eine Ursache von Verlusten. Nachdem das Potential sehr hoch ist, werden die Molecüle mit grosser Geschwindigkeit an das Glas angeschleudert, und rufen daselbst gewöhnlich eine starke Phosphorescenz hervor. Der durch die letztere hervorgerufene Effect nimmt sich zwar hübsch aus, doch ist es besser, ihn zu verhüten, da wir ja doch nicht Phosphorescenz erzielen wollen, die einem Energieverlust gleichkommt. Der Verlust im

Lampenkörper hängt hauptsächlich vom Potential der Impulse und von der elektrischen Dichtigkeit auf der Oberfläche der Elektrode ab. Durch Anwendung sehr hoher Wechselzahl wird der durch das Anprallen der Molecüle bedingte Energieverlust bedeutend vermindert, weil erstens das zur Hervorbringung einer gegebenen Arbeit nothwendige Potential niedriger wird, und weil zweitens durch Herstellung einer gut leitenden Photosphäre um die Elektrode herum, dasselbe Resultat erzielt wird, als wenn die Elektrode grösser (und also die elektrische Dichtigkeit geringer) wäre. Ob nun die Energieersparung durch Herabminderung des Potentials oder aber der Dichtigkeit verursacht wird, so geschieht diese Ersparung doch auf die nämliche Weise, und zwar durch Verhinderung gewaltsamer Anstösse, welche das Glas über seine Elasticitätsgrenze hinaus anstrengen würden. Könnte die Wechselzahl hoch genug gemacht werden, so würde zweifelsohne der aus der unvollkommenen Elasticität des Glases herrührende Verlust ein gänzlich unbedeutender sein.

**Vorschläge zur Erhöhung des Nutzeffectes.**

„Es ist von grossem Vortheil, die durch das Glühen des Leuchtkörpers entstehende Wärme, durch Verhinderung der Gascirculation in der Lampe, so viel wie möglich auf den Leuchtkörper zu concentriren. Würde man einen sehr kleinen Glaskörper anwenden, so würde in selbem die Wärme besser zurückgehalten werden, aber er würde vielleicht zu wenig Capacität aufweisen, oder aber das Glas würde sich zu stark erhitzen. Man mag den Leuchtkörper in eine kleinere Glaskugel einschliessen



und dieselbe in einen anderen grösseren Lampenkörper einführen. (Siehe Fig. 54.)

Die Glaskugel *L* läuft in einen breiten Hals *n* aus, durch welchen die kleine Kugel *b*, welche auf einem Hälter *s* aufsitzt, durchgeschoben werden kann. *M* ist eine Glimmerschicht, welche die Aluminiumröhre *a* von *b* isolirt und ein Bersten der kleinen Kugel verhindern soll, falls sich *a* zu stark erhitzt. Der innere Glaskörper soll so klein wie möglich sein, wenn man durch das Erglühen des Leuchtkörpers bloss Licht erzeugen will. Wenn man Phosporescenz hervorrufen will, müssen die Dimensionen von *b* grösser werden, sonst würde *b* zu heiss werden und die Phosphorescenz aufhören.

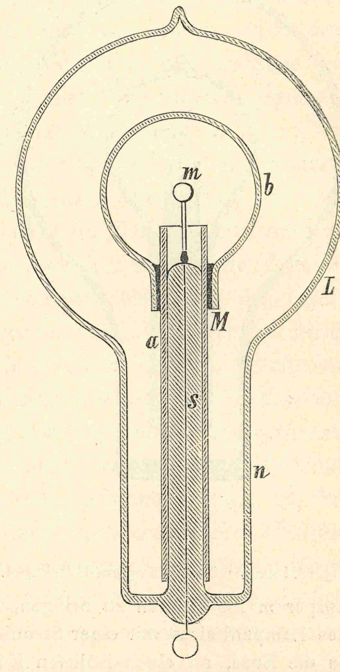


Fig. 54. Lampe mit Kugel zur Concentrirung der Wirkung auf den Mittelpunkt.

Bei dieser Anordnung zeigt bloss die innere Kugel Phosphorescenz, und es findet kein wahrnehmbares Anprallen der Molecüle gegen die äussere Kugel statt. Man kann die letztere auch mit phosphorescirendem Material belegen, um schöne Lichteffecte hervorzurufen.

Tesla hat auch Lampen nach der in Fig. 55 gezeigten Form hergestellt. In der inneren Kugel *b* ist ein hohes Vacuum hergestellt, während dasselbe in *L* etwas schwächer ist. Der Hälter *s* ist an der Löthstelle *e* ziemlich dick und der Leitungsdraht *w* sehr dünn, um einem Bersten an der Stelle *e*, welche sich manchmal erhitzt, vorzubeugen.[1])

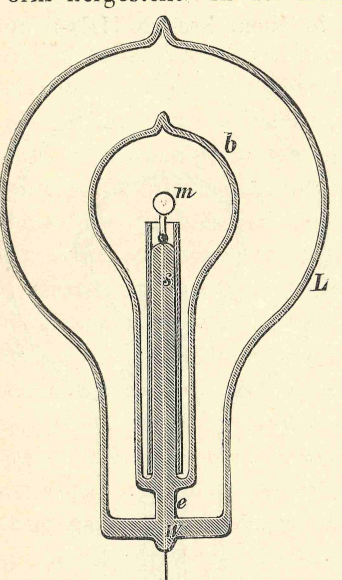



Fig. 55. Lampe mit unabhängiger Hilfskugel.

[1]) Wenn in der äusseren Kugel *L* das Vacuum gerade nur so weit hergestellt wurde, dass die Entladung stattfinden konnte, erschien der Raum zwischen den zwei Kugeln blutroth und bot eine eigenthümliche Erscheinung. Wenn das Vacuum in *L* sehr niedrig und die Luft gut leitend war, wurde es, um den Leuchtkörper *m* ins Glühen zu bringen, nothwendig, den oberen Theil des Lampenhalses mit einer Stanniolbelegung zu versehen, welche an die Erde, an einen isolirten Körper oder an ein Ende der Inductionsspule angeschlossen wurde. — Den beiden oben erwähnten Lampenformen lag das Bestreben zu Grunde, die Wärme durch Ausschluss der Luftcirculation auf den Mitteltheil der Lampe zu beschränken. Leider ist es in Folge der Erwärmung der inneren Glaskugel und der langsamen Zerstäubung des Glases schwer, das Vacuum auf seiner ursprünglichen Höhe zu erhalten, und zwar selbst bei der in Fig. 54 angedeuteten Construction, in welcher die beiden Kugeln miteinander in Verbindung stehen.



**Die starre Flamme.** „Das beste Mittel zur Erhöhung des Nutzeffectes, das ideale Mittel aber würde — sagt Tesla — die Erreichung genügend hoher Wechselzahl sein.“ Je höher die Wechselzahl, desto langsamer müsste der Luftaustausch werden, und er meint, dass eine Wechselzahl erreicht werden könnte, bei welcher um die Elektrode herum gar kein wie immer gearteter Austausch der Luftmolecüle stattfinden würde. — „Wir würden dann eine Flamme herstellen, in welcher kein Materialverbrauch stattfände, und was für eine sonderbare Flamme würde es sein! Sie würde nämlich starr sein. Bei so hoher Wechselzahl würde die Trägheit der Theilchen ins Spiel kommen. Nachdem die Lichterscheinung, oder die Flamme, ihre Starrheit in Folge der Trägheit der Theilchen erlangen würde, würde der Austausch derselben verhindert werden. Dieses Stadium müsste nothwendigerweise eintreten, weil dadurch, dass die Anzahl der Impulse vermehrt wird, die potentiale Energie eines jeden derselben verringert wird, so dass endlich bloss atomische Vibrationen entstehen könnten, und die Uebertragungsbewegung durch messbaren Raum aufhören würde. Auf diese Weise könnte der Nutzeffect einer mit einer Stromquelle von rapid wechselndem Potential verbundenen, gewöhnlichen Gasflamme bis zu einer gewissen Grenze erhöht werden, und zwar aus zweierlei Gründen: erstens wegen der Ergänzung oder der Vermehrung der Vibration, und zweitens wegen der Verlangsamung des Stoffaustausches. Aber da die Erneuerung des Stoffes schwierig werden würde, während sie doch zur Erhaltung der Flamme nothwendig ist, würde eine weiter

fortgesetzte Erhöhung der Wechselzahl der Impulse (vorausgesetzt, dass dieselben der Flamme übermittelt und aufgeprägt werden könnten) ein Verlöschen derselben hervorrufen, worunter wir bloss das Aufhören des chemischen Processes verstehen.

„Es ist am Wahrscheinlichsten, dass das den Raum erfüllende *Medium* aus unabhängigen Ladungsträgern besteht, welche in ein isolirendes *Fluidum* eingetaucht sind. Von der Annahme ausgehend, dass auf dieses Medium ungeheuere elektrostatische Drucke einwirkten, können wir es begreiflich finden, dass ein Körper durch dieses Medium hindurch gehen kann; das letztere könnte aber nichtsdestoweniger starr und elastisch sein, wenn auch dem Fluidum selbst diese Eigenschaften mangelten. Haben nun die Ladungsträger verschiedene Gestaltung (sagen wir unregelmässige Formen), so dass der Flüssigkeitswiderstand gegen ihre Bewegung in einer Richtung grösser ist als wie in der anderen, so würde ein Druck wie der oben vorausgesetzte, diese Ladungsträger veranlassen, sich in Gruppen zu sammeln, indem sie sich untereinander die Seiten ihrer grössten elektrischen Dichtigkeit zukehrten, in welcher Position der Flüssigkeitswiderstand gegen ihre gegenseitige Annäherung geringer ist als der gegen Lockerung. Würde nun in einem Medium von den geschilderten Eigenschaften durch ein beständiges Potential ein Lichtbüschel hervorgerufen, so würde der Austausch der Ladungsträger in continuirlicher Weise statthaben, und es befänden sich dann per Volumeinheit in dem Lichtbüschel selbst weniger Träger, als in einer gewissen Entfernung vom Büschel, was einer Verdünnung gleichkommt. Wenn nun aber das Potential rapid wechselte, so wäre das Ergebniss ein vollständig verschiedenes: je höher die Wechselzahl der Impulse, desto langsamer würde der Austausch der Träger stattfinden, es würde endlich die Uebertragungsbewegung im messbaren Raume aufhören, und bei genügend hoher Wechselzahl und Druckintensität würden die Träger an die Elektrode geschoben, und es würde sich eine Compression ergeben.



Man hegt zwar allgemein die Meinung, dass nicht die Rede davon sein könne, eine solch hohe Wechselzahl hervorbringen zu können, mit welcher die oben erwähnten, als Möglichkeit hingestellten Resultate, erreicht würden. Das mag wohl sein, doch ist Tesla im Laufe seiner Forschungen und durch die Beobachtung verschiedener Phänomene zur Ueberzeugung gelangt, dass die Höhe dieser erforderlichen Wechselzahl eine bedeutend geringere sein würde als jene, welche man gegenwärtig voraussetzen zu müssen glaubt.

„Die Lichtvibrationen in einer Flamme werden durch Collisionen von Molecülen oder Atomen hervorgerufen. Welche ist aber die Verhältnisszahl zwischen den einzelnen Collisionen der Molecüle und der hervorgerufenen Vibrationen? Sie muss gewiss unvergleichlich kleiner sein als jene der Tonvibrationen, oder wie jene der Entladungen und Oscillationen eines Condensators. Wir können durch die Anwendung von elektrischen Impulsen hoher Wechselzahl, die Gasmolecüle in Collision bringen, und auf diese Weise den Vorgang in der Flamme nachahmen. Tesla glaubt sogar, dass

die zur Hervorbringung dieses Resultates nothwendigen Impulse durch einen Leiter übermittelt werden können.

**Die Starrheit einer vibrirenden Gassäule.** Diese und ähnliche Gedanken haben es Tesla als wünschenswerth erscheinen lassen, die Starrheit einer vibrirenden Gassäule zu beweisen, oder besser gesagt, darzuthun, dass ein gasförmiges Medium, welches durch einen rapiden Wechsel elektrostatischen Potentials in Schwingung versetzt wird, starr sei. Obwohl die Lösung dieser Aufgabe mit so geringer Wechselzahl (z. B. 10.000 pro Secunde), wie solche mittelst einer Maschine erreicht werden können, entmuthigend auf den Forscher wirkte, unternahm er dennoch eine Reihe von Versuchen. Die Versuche mit Luft unter gewöhnlichem Druck ergaben kein Resultat, doch erhielt Tesla in mässig verdünnter Luft ein Resultat, welches ihm als ein klarer Nachweis der gesuchten Eigenschaft erschien.

„Es ist bekannt — sagt Tesla in der Beschreibung einer seiner Versuche — dass in einer Röhre von geringem Vacuum die Entladung in Form eines dünnen Lichtfadens statthaben kann. Wenn die Entladung von Strömen niederer Wechselzahl herrührt, erscheint der Lichtfaden ohne Starrheit, unelastisch. Wird dann dem Lichtfaden ein Magnet genähert, so wird der dem Magnet nahe Theil des Fadens, je nach der Richtung der Magnet-Kraftlinien, entweder angezogen oder abgestossen. Wird nun aber ein solcher Faden mit Strömen hoher Wechselzahl hervorgerufen, so ist er mehr oder weniger starr.



Tesla benutzte zu seinen Versuchen eine Röhre von beiläufig 1 Meter Länge und 1 Zoll Durchmesser, welche an jedem ihrer beiden Enden mit einer äusserlichen Stanniolbelegung versehen war. In der Röhre wurde das Vacuum zu einem solchen Grade hergestellt, dass die fadenartige Entladung leicht statthaben konnte. Es wurde für vortheilhaft gefunden, bloss einen einzigen Leitungsdraht anzuwenden, welcher mit der oberen Stanniolbelegung verbunden war, und welcher zur Aufhängung der Röhre diente. Die Belegung am anderen unteren Röhrenende wurde zeitweise mit einer kleinen isolirten Metallplatte in leitende Verbindung gebracht. Wenn nun der Lichtfaden in der Röhrenachse erschien, zeigte er sich, als scharf ausgeprägt vom oberen Röhrenende ausgehend und sich am unteren verlierend. Der Faden glich im starren Zustand nicht genau einer zwischen zwei Aufhängepunkten straff gespannten Schnur, sondern einer von oben aufgehängten Schnur, an deren unterem Ende gleichsam ein kleines, unsichtbares Gewicht angehängt wäre. Wurde dem oberen Ende des leuchtenden Fadens ein Finger oder Magnet genähert, so konnte der Faden durch elektrostatische oder magnetische Einwirkung aus seiner localen Position gebracht werden. Wurde der störende Gegenstand rasch entfernt, so erschien es, als wenn eine aufgehängte Schnur aus ihrer Lage gebracht und nahe zu ihrem Aufhängungspunkte schnell lose gemacht würde. Hierbei wurde der Lichtfaden in Vibrationen versetzt und es bildeten sich zwei scharf ausgeprägte und ein dritter, weniger bemerkbarer Knoten. Die Vibration, wenn sie einmal begann, dauerte

bis zu acht Minuten lang, während dieser Zeit langsam aussterbend. Die Schnelligkeit dieser Vibration wechselte oft in bemerkbarer Weise, und man konnte wahrnehmen, dass die elektrostatische Anziehung des Glases den vibrirenden Faden beeinflusste; es war jedoch klar, dass nicht die elektrostatische Einwirkung die Ursache der Vibration war, denn der Faden blieb die meiste Zeit unbeweglich und konnte immer durch schnelle Annäherung des Fingers an das obere Röhrenende, in Vibration versetzt werden. Durch Annäherung eines Magneten konnte der Faden ferner in zwei Theile gespalten werden, welche beide vibrirten. Durch Annäherung der Hand an die untere Belegung, oder durch Verbindung derselben mit einer isolirten Platte, wurde die Vibration beschleunigt, ebenso durch Erhöhung des Potentiales oder der Wechselzahl. Eine Erhöhung der Wechselzahl, oder eine stärkere Entladung bei ursprünglicher Wechselzahl, correspondirten mit einem Straffwerden des Fadens. Diese Vibration scheint zu erweisen, dass der Lichtfaden wenigstens gegen transversale Verschiebungen Starrheit besitzt.

Tesla hat durch mannigfache Versuche die Starrheit der Lichterscheinungen in freier Luft, unter gewöhnlichem Drucke, nachweisen wollen. Obwohl diese Experimente zu keinem positiven Resultate führten, scheint es doch unzweifelhaft, dass ein Lichtbüschel oder Glimmlicht starr werden würde, sobald es nur möglich wäre, die erforderliche Wechselzahl zu erreichen. Eine kleine Kugel müsste sich in dem Lichtbüschel frei bewegen können, würde sie aber gegen das Büschel



geworfen, so müsste sie davon abprallen. Eine gewöhnliche Flamme kann deswegen nicht starr sein, weil ihre Schwingungen ohne bestimmte Richtung sind; ein elektrischer Lichtbogen aber muss mehr oder weniger Starrheit besitzen.

Tesla erhielt bei diesen Experimenten mit Condensator-Entladungen keine Resultate. Ein durch Entladungen einer Leydener Flasche in einer Vacuumröhre erzeugter Lichtstreifen muss wenigstens gegen transversale Verschiebungen Starrheit besitzen, und muss vibriren, wenn er umgeformt und plötzlich lose gemacht wird. Wahrscheinlich aber ist die Menge der vibrirenden Materie eine solch geringe, dass sich trotz der grossen Geschwindigkeit, die Trägheit nicht in hervorragendem Maasse äussert. Ausserdem werden in einem solchen Falle die Beobachtungen durch die fundamentale Vibration ausserordentlich erschwert.

„Die Nachweisung der Thatsache, welche noch weiterer experimentaler Bestätigung bedarf, dass eine vibrirende Gassäule Starrheit besitzt, mag die Ansichten der Forscher bedeutend verändern. Wenn man mit niederer Wechselzahl und unbedeutenden Potentialen Anzeichen dieser Eigenschaft wahrnehmen kann, wie muss sich ein gasförmiges Medium unter dem Einflusse von im interstellaren Raum thätigen, enormen, mit unbeschreiblicher Geschwindigkeit wechselnden, elektrostatischen Kräften verhalten? Die Existenz einer solchen elektrostatischen, rhythmisch wellenden Kraft — eines vibrirenden elektrostatischen Feldes — würde uns den Weg weisen, auf welchem feste Körper durch den ultra-gasösen Uterus gebildet wurden, sie würde uns

zeigen, auf welche Weise transversale und andere Arten von Vibrationen, durch ein den ganzen Raum füllendes gasförmiges Medium übertragen werden können. Der Aether könnte dann ein wirkliches Fluidum, ohne Starrheit und im Ruhezustande, sein, bloss als ein Bindeglied nothwendig, um Zwischenwirkung zu ermöglichen. Durch was wird die Starrheit eines Körpers bestimmt? Es muss dies die Geschwindigkeit und die Menge der bewegten Materie sein. Bei einem Gas kann die Geschwindigkeit gross sein, aber seine Dichtigkeit ist gering; in einer Flüssigkeit könnte die Geschwindigkeit gering, aber die Dichtigkeit bedeutend sein, und in beiden Fällen ist der einer Fortbewegung sich bietende Trägheitswiderstand praktisch gleich Null. Ein Gas scheint keine besonders bemerkenswerthe Trägheit gegen plötzliche elektrische Impulse zu besitzen. Wird aber eine gasförmige (oder flüssige) Säule in ein intensives, rapid wechselndes elektrostatisches Feld versetzt, und werden die Partikel mit enormen Geschwindigkeiten in Vibration gebracht, dann ergiebt sich der Trägheitswiderstand von selbst. Ein Körper mag sich mit mehr oder weniger Leichtigkeit durch die vibrirende Masse bewegen — als ein Ganzes aber würde dieselbe starr sein. In einer gasförmigen Entladung vibrirt jedes Atom mit seiner eigenen Geschwindigkeit, aber eine Vibration der leitenden gasförmigen Masse, als ein Ganzes, findet nicht statt.

**Nichtleitende Leuchtkörper.** Es ist nicht nothwendig, dass der Leuchtkörper einer elektrostatischen Lampe aus leitendem Materiale sei, nachdem man ja auch Nichtleiter ebenso leicht ins Glühen bringen kann.



In Fig. 52 sehen wir eine Lampe, in welcher die leitende Elektrode (ein dünner Kohlenfaden) mit nichtleitendem Material umgeben ist, und an ihrem oberen Ende in einen Knopf aus selbem Materiale ausläuft. Sobald die Inductionsspule zu wirken beginnt, findet das moleculare Anprallen durch den Nichtleiter hindurch so lange statt, bis derselbe genügend erwärmt ist, um hierdurch leitend zu werden, worauf dann das moleculare Anprallen in gewohnter Weise stattfindet.

Eine andere Lampe ist in Fig. 56 zu sehen. Hier ist ein Nichtleiter auf ein Stück gewöhnlicher Bogenlichtkohle derart aufgelegt, dass er etwas über dasselbe hinaus ragt. Das Kohlenstück ist mit einem Leitungsdraht verbunden, welcher durch den mit mehreren Glimmerschichten umwundenen Glashälter geht. Eine Aluminiumröhre dient als Schirmung. Die Röhre ist so angeordnet, dass sie beinahe dieselbe Höhe hat wie das Kohlenstück, so dass bloss der Nichtleiter herausragt. Das Anprallen der Molecüle hat zuerst gegen das obere Ende des Kohlenstückes statt, dessen übriger Theil durch den Aluminiumschirm geschützt ist. Sobald sich der Nichtleiter so weit erwärmt, dass er leitend wird, wird er als exponirtester Punkt zum Mittelpunkt des Anprallens.

„In solchen Fällen, in welchen sich in der Lampenkugel mehrere Körper von verschiedenem Materiale befinden, wie in dem soeben beschriebenen Falle, können interessante Wahrnehmungen gemacht werden. Es scheint, dass, an welchem Körper immer auch das

Anprallen beginnt, einer dieser Körper den Hauptanprall auf sich nimmt, und denselben hierdurch von den anderen Körpern abwendet. Diese Eigenschaft scheint hauptsächlich vom Schmelzpunkt und auch von der Leichtigkeit abzuhängen, mit welcher der Körper „verdampft", oder zerstäubt.[1]) Diese Wahrnehmung ist in Uebereinstimmung mit allgemein angenommenen Voraussetzungen. In einer Hohlkugel von hohem Vacuum wird die Elektricität durch unabhängige Träger von der Elektrode abgenommen. Diese Träger sind theilweise Atome oder Molecüle, oder aber von der Elektrode abgerissene Theilchen. Ist die Elektrode aus Körpern verschiedener Beschaffenheit zusammengesetzt, und wird einer dieser Körper leichter desintegrirt als der andere, so wird der grösste Theil der zugeführten Elektricität von diesem leichter zerstäubbaren Körper abgegeben. Dieser Körper erreicht dann eine um so höhere Temperatur, als ein Anwachsen der Temperatur zugleich auch seine grössere Desintegration bedingt.

**Die Beschaffenheit des Leuchtkörpers.** „Die Lebensdauer solcher Lampen, wie der soeben beschriebenen, hängt natürlich von dem Grade des Vacuums in denselben, aber auch von der Gestalt des Leuchtkörpers ab. Theoretisch gedacht, müsste eine kleine Kohlenkugel, welche in einer Hohlkugel aus Glas eingeschlossen ist, durch das Anprallen der Molecüle keine Beschädigung

[1]) Das Wort „Verdampfen" ist von Professor Crookes eingeführt und bedeutet hier das Abgeben der Molecüle einer Elektrode in Folge einer Entladung in der Vacuumröhre. Siehe Crookes: „Electric Evaporation". N. T.



erleiden, weil sich die Materie in der Glaskugel in strahlendem Zustande befindet, die Molecüle sich in geraden Linien bewegen sollten, und selten schief auf die Kohlenkugel auftreffen könnten. Es ist interessant, sich vorzustellen, dass in einer solchen Lampe „Elektricität" und elektrische Energie sich augenscheinlich in denselben Linien bewegen müssen.

In seiner Londoner Vorlesung sagte Tesla über diesen Gegenstand Folgendes: „In einem, wenn auch homogenen Leuchtkörper giebt es immer einige Unregelmässigkeiten, und zwar selbst dann, wenn die Oberfläche fein abpolirt wäre, was übrigens bei den meisten Leuchtkörpern unmöglich zu erreichen wäre. Nehmen wir an, irgend ein Punkt des Leuchtkörpers erwärme sich in erhöhtem Maasse, so wird augenblicklich der grösste Theil der Entladung durch diesen Punkt gehen, und ein kleines Theilchen des Leuchtkörpers schmilzt oder zerstäubt sich. Es kann nun möglich sein, dass in Folge der heftigen Desintegration, die Temperatur an dem angegriffenen Punkte sinkt, oder dass sich, wie in einem Lichtbogen, eine Gegenkraft bildet; in jedem Falle wird sich derselbe Vorgang wieder an einer anderen Stelle erneuern. Dem Auge erscheint der Leuchktkörper gleichförmig glänzend, dennoch aber verschieben sich auf demselben beständig wandernde Punkte, und zwar von einem Wärmegrade, welcher höher als der Durchschnittswärmegrad ist, und dies befördert die vor sich gehende Zerstörung. Dass ein ähnlicher Vorgang, wenigstens bei einer verhältnismässig niederen Temperatur des Leuchtkörpers, statt hat, kann durch folgendes Experiment

bewiesen werden: Man stelle in einer hohlen Glaskugel ein solch gutes Vacuum her, dass bei mässig hohem Potential eine Entladung nicht durchschlagen kann (d. h. keine sichtbare Entladung, denn eine schwache, unsichtbare findet wahrscheinlich in allen Fällen statt). Man erhöhe nun langsam und sorgfältig das Potential, lasse jedoch den Primärstrom jedesmal nur einen Augenblick einwirken. An einer gewissen Potentialhöhe angelangt, werden sich auf dem Lampenkörper einige phosphorescirende Flecken zeigen. Es ist augenscheinlich, dass an diesen Punkten das Anprallen der Molecüle ein heftigeres ist, als an den anderen Theilen des Glases, was von der (durch die Unregelmässigkeiten im Leuchtkörper bedingten) ungleich vertheilten elektrischen Dichtigkeit herrührt. Diese Lichtflecken wechseln fortwährend ihre Position, und lässt dieser Wechsel erkennen, dass sich der Zustand des Leuchtkörpers rapid verändert.

Aus diesem Experimente wird man zur Annahme geführt, dass der dauerhafteste Leuchtkörper eine kugelförmige Gestalt von glatt polirter Oberfläche haben sollte. Solche Kügelchen könnten aus Diamant oder aus anderen Krystallen hergestellt werden. Gerathener wäre es, irgend ein Oxyd, z. B. „Zirconia", mittelst Anwendung ausserordentlich hoher Temperaturen in ein kleines Kügelchen zusammen zu schmelzen, und dasselbe innerhalb des Lampenkörpers auf einer dem Schmelzpunkte nahen Temperatur zu erhalten.

**Hohe Temperaturen.** „Durch Anwendung ausserordentlich hoher Temperaturen können zweifelsohne interessante und zufriedenstellende Resultate erzielt werden. Durch welche Mittel aber können wir solch hohe Temperaturen erreichen? Auf welche Art werden in der Natur die höchsten Temperaturgrade hervorgebracht? Durch den Zusammenstoss von Himmelskörpern, durch grosse Geschwindigkeiten und Collisionen. Bei einer Collision kann jeder denkbare Wärmegrad erreicht werden, in chemischen Vorgängen aber sind für die Wärmeentwickelung Grenzen vorhanden. Wenn sich Oxygen und Hydrogen verbinden, fallen sie, metaphorisch gesprochen, von einer definirten Höhe. Wir können mit einem Gebläse, mit einem Ofen nicht viel hervorbringen, wir können aber in einer luftleeren Hohlkugel eine beliebige Energiemenge auf ein kleines Kügelchen concentriren. Die praktische Anwendbarkeit dieses Vorganges beiseite lassend, scheint es uns doch, dass seine Anwendung uns die Erreichung der höchsten Temperaturen ermöglichen müsste. Bei Erzielung derselben begegnen wir aber grossen Schwierigkeiten, weil in den meisten Fällen der erhitzte Körper eher zerstäubt, als dass er zu einem Kügelchen zusammengeschmolzen werden könnte. Diese Schwierigkeit besteht hauptsächlich mit Oxyden, wie z. B. Zirconia, weil dasselbe nicht zu einem so harten Kuchen zusammengebacken werden kann, als dass es sich nicht bei höheren Temperaturen leicht zerstäubte.

Tesla hat zu wiederholtenmalen versucht, Zirconia derart zu schmelzen, dass er es in ein vertieftes Stück Bogenlichtkohle (Fig. 56) legte. Das Oxyd glühte mit intensivem Lichte, und der Strom seiner aus der Kohlenvertiefung herausgeschleuderten Partikelchen war

blendend weiss. Ob das Oxyd nun in einen Kuchen zusammengepresst oder in Teigform geknetet war, es zerstäubte, bevor es zum Schmelzen gebracht werden

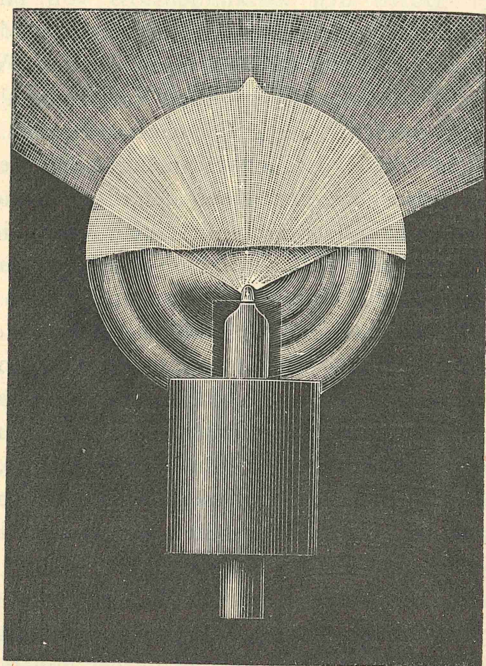


Fig. 56. Effect, hervorgebracht durch ein Rubinkügelchen.

konnte. Die das Zirconia enthaltende Kohlenschale musste sehr tief in den Hals eines grossen Lampenkörpers eingesetzt werden, weil die Erwärmung des Glases durch die fortgeschleuderten Oxydtheilchen so rapid war, dass bei dem ersten Versuche die Lampen-



kugel beinahe augenblicklich barst, sobald die Ströme zu wirken begannen.

Diese Schwierigkeiten zeigten sich in geringerem Maasse, wenn der in der Kohlenschale untergebrachte Körper eine grössere Widerstandsfähigkeit gegen Zerstörung hatte. Wenn beispielsweise ein Oxyd zuerst in einem Sauerstoffgebläse geschmolzen und erst dann in die Lampenkugel eingeführt wurde, konnte es dann in selber leicht zu einem Kügelchen zusammengeschmolzen werden.

Gewöhnlich beobachtet man während des Schmelzens prachtvolle Lichteffecte, welche schwer zu beschreiben sind. Fig. 56 soll eine Vorstellung von dem mit einem Rubinkügelchen erreichten Effecte geben. Zuerst gewahrt man einen engen, gegen den oberen Theil des Lampenkörpers geworfenen weissen Lichttrichter, wo er einen unregelmässig geformten phosphorescirenden Flecken bildet. Wenn der Rubin schmilzt, wird die Phosphorescenz sehr kräftig, nachdem aber die von der Oberfläche der Kügelchen fortgeschleuderten Atome mit immer grösserer Geschwindigkeit an das Glas anprallen, wird das letztere heiss und nun glüht bloss der Rand des Fleckens, weil das Glas in der Mitte des Fleckens heisser wird und dort schneller die Eigenschaft der Phosphorescenz verliert. Auf diese Weise stellt sich ein scharf markirter, phosphorescirender, mit den Aussenlinien des Kügelchens harmonirender Streifen her, welcher sich langsam über den Lampenkörper ausbreitet, wenn das Kügelchen grösser wird. Wenn die Masse zu sieden beginnt, bilden sich in ihr kleine Blasen und Vertiefungen, welche auf dem Lampenkörper dunkel gefärbte Flecken erscheinen lassen.

Die Lampenkugel mag ohneweiters nach abwärts gehangen werden, ohne dass das Kügelchen deshalb herunterfallen würde; die Masse desselben besitzt eben beträchtliche Zähigkeit.

**Verhalten des Leuchtkörpers im hohen Vacuum.** „Man wäre versucht zu glauben, dass dann, wenn man in der Glaskugel, in welcher sich der Leuchtkörper befindet, Luftleere herstellte (so weit man selbe eben durch Auspumpen erreichen kann), die Erhitzung eine weniger intensive werden würde, und dass sie im vollkommenen Vacuum ganz aufhören müsste. Tesla's Versuche haben gerade das Gegentheil erwiesen: Je besser das Vacuum, desto leichter können die Körper ins Glühen gebracht werden.

Tesla erwähnt hier eines interessanten Umstandes. Bei Lampen, in welchen der Leuchtkörper in Folge der ausserordentlichen Hitze ins Schmelzen gerieth, erschien es ihm, als würde der Körper in hohem Vacuum bei einer niedereren Temperatur im geschmolzenen Zustande erhalten, als dies bei gewöhnlichem Druck und bei gewöhnlicher Erwärmungsart statt hat. Wenigstens schien die erhaltene Lichtmenge auf einen solchen Unterschied hinzudeuten. Das folgende Experiment mag zur Illustration dieser Annahme dienen. Ein Stück Bimsstein wurde mittelst eines Gasgebläses an einen Platindraht angeschmolzen. Der Draht wurde zwischen zwei Stücke Holzkohle eingeführt, und mittelst eines Gasgebläses wurde der Bimsstein in ein kleines glasförmiges Kügelchen zusammengeschmolzen. Der Platindraht wurde so dick gewählt, dass er bei dieser Operation nicht ins



Schmelzen gerieth. Das Kügelchen glänzte im Kohlenfeuer und im Gasgebläse mit strahlendem Licht. Später wurde das Kügelchen in eine Lampenkugel eingeführt, in welcher hohes Vacuum hergestellt wurde. Es wurde dann mittelst elektrischer Ströme auf Schmelzpunkt erhitzt, und zeigte nun im Schmelzen nicht denselben Glanz wie unter gewöhnlichem Druck. Dies würde darauf hindeuten, dass es unter diesen Verhältnissen bei niederer Temperatur ins Schmelzen geräth. Es ergiebt sich nun die Frage: „Kann ein Körper im vorliegenden Falle mit weniger Lichtentwickelung vom festen in flüssigen Zustand gebracht werden, als dies gewöhnlich geschieht?"

Tesla sagt darüber Folgendes: „Wenn das Potential eines Körpers in rapiden Wechsel versetzt wird, ist es sicher, dass seine Structur erschüttert wird. Wenn das Potential sehr hoch ist (obgleich die Wechselzahl gering, sagen wir 20.000 pro Secunde, sein kann), so ist die Einwirkung auf die Structur schon eine beträchtliche. Nehmen wir beispielsweise an, es würde ein Rubin bei stetig gleichförmiger Energieanwendung zusammengeschmolzen, so dass er ein Kügelchen bildet. Nun wird dasselbe sichtbare und unsichtbare Wellen aussenden, welche sich in einem gewissen Verhältnisse zueinander befinden, und es wird dem Auge in einem gewissen Lichtglanze erscheinen. Nehmen wir nun an, es würde die zugeführte continuirliche Energie in beliebigem Grade vermindert, und durch eine nach einem bestimmten Gesetz anwachsende und wieder abnehmende Energie ersetzt. Bei Bildung des Kügelchens werden dann drei verschiedene Gattungen von Schwingungen ausgehen: die gewöhnlichen sichtbaren

und zwei Gattungen von unsichtbaren Wellen, d. i. die gewöhnlichen dunklen Wellen von allen Längen, und weiters Wellen von einem klar bestimmten Charakter. Diese letzteren würden bei einer stetigen Energiezuführung nicht existiren; hier aber helfen sie bei der Erschütterung der Structur mit. Ist dies nun wirklich der Fall, dann wird das Rubinkügelchen verhältnissmässig mehr unsichtbare als sichtbare Wellen aussenden. Es müsste also wahrscheinlich sein, dass z. B. ein Platindraht, wenn er mittelst rapid wechselnder Ströme ins Schmelzen gebracht wird, an seinem Schmelzpunkt weniger Licht und mehr unsichtbare Strahlung abgeben würde, als dann, wenn er mittelst stetiger Ströme geschmolzen würde, trotzdem die in beiden Fällen angewandte gesammte Energie die gleiche ist. Oder, um ein anderes Beispiel anzuführen: ein Kohlenfaden kann Strömen hoher Wechselzahl nicht so lange Zeit widerstehen als stetigen Strömen, vorausgesetzt, dass es sich um die nämliche Lichtintensität handelt. Es ergiebt sich also, dass für rapid wechselnde Ströme der Kohlenfaden kürzer und dicker sein muss. Je höher die Wechselzahl ist, d. h. je grösser die Abweichung vom stetigen Strömen, desto schlechter ist es für den Kohlenfaden. Wenn es nun auch mit dem soeben Gesagten seine Richtigkeit hätte, so würde es doch irrig sein, anzunehmen, dass ein Leuchtkörper, wie er in den hier besprochenen Lampen angewendet wird, durch Ströme hoher Wechselzahl schneller zerstört werden würde, als durch Ströme geringer Wechselzahl oder durch Gleichstrom. Tesla findet in seinen Experimenten gerade das Gegentheil.



„Der Leuchtkörper (das Kügelchen) hält bei Strömen hoher Wechselzahl das Anprallen der Molecüle besser aus. Dies findet seine Ursache darin, dass eine durch rapid wechselnde Ströme hervorgerufene Entladung leichter durch verdünntes Gas geht, als eine von Gleichströmen oder von Strömen niederer Wechselzahl herrührende Entladung, und dies will bedeuten, dass wir bei hoher Wechselzahl mit geringerem Potential und weniger heftigen Anstössen arbeiten können. So lange das Gas von keinem Einflusse ist, mag niedere Wechselzahl besser sein, sobald aber die Wirkung des Gases bedeutend wird, ist hohe Wechselzahl vorzuziehen.

**Das allgemeine Verhalten der Leuchtkörper, ihre Dauer.** Tesla hat verschiedene Lampen mit feuerbeständigen Leuchtkörpern in Form von Faden (Fig. 57) oder „Blöcken" (Fig. 58) construirt und versucht.

Es macht keine Schwierigkeiten, so hohe Temperaturen zu erreichen, dass hierbei Kohle allem Anscheine nach schmilzt und sich verflüchtigt. Wenn das Vacuum zu einem vollkommenen gemacht werden könnte — sagte Tesla früher — so würde eine derartige Lampe, wenn sie mit entsprechenden Strömen gespeist würde, ein Beleuchtungsmittel bieten, welches sich nie zerstört, und welches einen bedeutend höheren Nutzeffekt aufweisen würde, als eine gewöhnliche Glühlampe. Diese Vollkommenheit kann aber nie erreicht werden, und es tritt immer, wie in Glühlampen, eine langsame Zerstörung und graduelle Verminderung des Volumens des leuchtenden Körpers ein; es giebt aber in den von Tesla angedeuteten Lampen, besonders wenn die glühenden

Körper „block"förmig sind, keine Möglichkeit einer plötzlichen Versagung, wie solche in Glühlampen durch das Brechen des Kohlenfadens herbeigeführt wird.

Um die Abnutzung der Elektrode auf ein Minimum herabzumindern, ist es wünschenswerth, dass die Vibra-

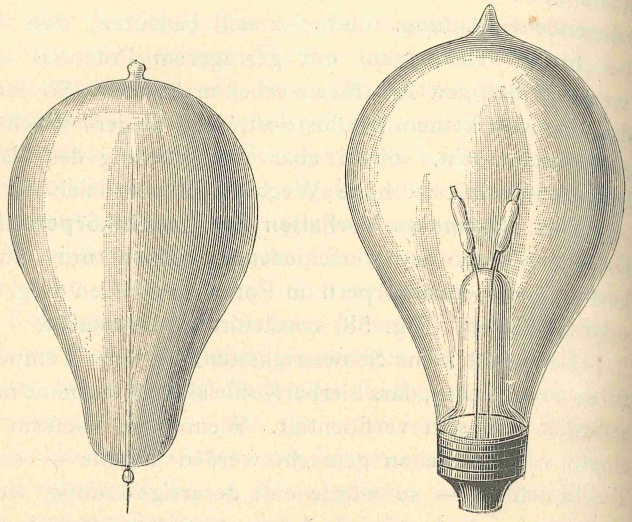


Fig. 57. Lampe mit geradem Kohlenfaden und einem Leitungsdrahte.

Fig. 58. Lampe mit zwei Leuchtkörpern in hohem Vacuum.

tion der Stromimpulse eine harmonische sei. Eine Elektrode dauert länger, wenn sie durch Ströme oder Impulse, wie sie von einer Wechselstrommaschine erhalten werden, ins Glühen gebracht wird, als wenn dies durch mit Condensatorentladungen erhaltenen Impulsen geschähe.

**Leuchtkörper aus Kohle.** Tesla hat es sich angelegen sein lassen, aus allen möglichen Kohlenarten



Leuchtkörper herzustellen. Elektroden, welche aus einer unter grossem Druck gepressten Kohlensubstanz hergestellt wurden, erwiesen sich als am dauerhaftesten. Durch Kohlenniederschläge hergestellte Leuchtkörper entsprachen ihrem Zwecke nicht und schwärzten schnell die Glaswände. Einige Kohlenarten widerstehen der Hitze so gut, dass man dieselben nur in Form von kleinen Kügelchen zum Schmelzen bringen konnte. Es kann angenommen werden, dass durch das moleculare Bombardement alle Kohlenarten zum Schmelzen gebracht werden können, doch ist ihr Flüssigkeitszustand von bedeutender Unbeständigkeit. Von allen untersuchten Substanzen widerstanden Diamant und „Carborundum" am besten. Beide zeigten gleich gute Eigenschaften, doch war die letztgenannte Substanz aus manchen Gründen vorzuziehen.

**„Carborundum".** Diese Substanz wird von E. G. Acheson in Monongahela (Pennsylvanien, Amerika) hergestellt. Sie wird bei verschiedenen Polirarbeiten anstatt Diamantpulvers angewendet, kann sowohl in krystallinischer als auch in Pulverform erhalten werden, und gleicht in letzterem Zustande dem gewöhnlichen Diamantpulver, obwohl es feiner ist als das letztgenannte. Die Krystalle gleichen einer Art von verunreinigter Kohle, sind ausserordentlich hart und widerstehen für lange Zeit selbst einem Sauerstoffgebläse. Wenn sie dem Gebläse ausgesetzt werden, backen sie zu einer compacten Masse zusammen, welche, ohne zu schmelzen, der Einwirkung des Gebläses lange widersteht. Unter starkem Druck zusammengepresst, werden die Krystalle

leitend, doch nicht in solchem Maasse wie gewöhnliche Kohle.[1])

**Kann ein Elektricitätsleiter phosphoresciren?** „Es ist eine bekannte Thatsache, dass die meisten phosphorescirenden Körper diese Qualität verlieren, sobald sie durch hinreichende Erwärmung mehr oder minder leitend gemacht werden. Wenn ein Körper, wie z. B. ein Metall, keine Phosphorescenz aufweist, ist es nicht deshalb, weil der Körper eben ein Leiter ist? Wenn also ein Metall seine Leitungsfähigkeit zum grössten Theile oder gänzlich verliert, sollte es hierdurch die Eigenschaft der Phosphorescenz erlangt haben. Es kann sehr leicht möglich sein, dass bei besonders hoher Wechselzahl, wobei ein Metall zum Nichtleiter wird, dasselbe Phosphorescenz aufweist, während dieselbe bei geringerer Wechselzahl verloren geht. Es mag auch möglich sein, einen Zustand hervorzurufen, in welchem ein Leiter wenigstens zu phosphoresciren scheint.

„Noch immer wissen wir nicht genau, was Phosphorescenz wirklich ist, und ob die unter dieser Bezeichnung auftretenden verschiedenartigen Erscheinungen alle auf dieselben Ursachen zurückzuführen sind. Nehmen wir an, es würde im luftleeren Raume, durch den Anprall der Molecüle, die Oberfläche eines Metalles oder eines anderen Leiters zum Leuchten gebracht werden, und dieser Körper bliebe verhältnissmässig kühl: würden wir diese Lichterscheinung nicht Phosphorescenz nennen? Ein solcher Zustand kann

[1]) Nähere Details über diese Substanz können in „Electrical World", Vol. XIX, Nr. 19, p. 318, nachgelesen werden.



nun, wenigstens theoretisch, geschaffen werden: es ist dies bloss eine Frage der Geschwindigkeit oder des Potentials. Nehmen wir an, das Potential einer Elektrode, und folglich die Geschwindigkeit der fortgeschleuderten Atome, sei genügend hoch, so würde die Oberfläche des Metallkörpers, gegen welchen die Atome geschleudert werden, glühend werden, weil sich der Vorgang der Wärmeentwickelung viel schneller vollziehen würde, als die Radiation oder Energieabgabe von der Oberfläche der Collision aus statthaben könnte. In dem Auge des Beobachters würde ein einfacher Anstoss der Molecüle ein augenblickliches Aufleuchten sehbar machen; würden aber die Anstösse mit genügender Schnelligkeit wiederholt, so müssten dieselben auf die Netzhaut einen continuirlichen Eindruck hervorrufen. Dem Beobachter würde die Oberfläche des Metalles continuirlich glühend und constant leuchtend erscheinen, während in Wirklichkeit das Licht intermittirend, oder wenigstens periodisch seine Intensität wechselnd, wäre. Der Metallkörper würde so lange an Temperatur zunehmen, bis nicht das Gleichgewicht hergestellt ist, d. h. bis die continuirlich ausgestrahlte Energie nicht der intermittirend zugeführten, gleich geworden ist. Die zugeführte Energie könnte aber unter solchen Bedingungen nicht genügend gross sein, um den Körper auf eine höhere als eine mittelmässige Temperatur zu bringen, und zwar besonders dann, wenn die Wechselzahl der molecularen Anstösse sehr nieder ist; nämlich gerade genug, damit die Fluctuation der hervorgebrachten Lichtintensität dem Auge wahrnehmbar werde. Der Körper würde trotz seiner ver-

hältnissmässig niederen Temperatur ein starkes Licht ausstrahlen können. Wie sollte nun der Beobachter eine solche Lichterscheinung benennen? Wahrscheinlich würde er sie in die Phosphorescenz-Phänomene einreihen.[1])

---

[1]) Becquerel E.: „Recherches sur la Production de la Phosphorescence et sur diverses Propriétés de l'Etincelle électrique." Annales de Chimie et de Physique, tome LXXI, 1839, p. 36.

Becquerel: „Ueber die Hervorrufung der Phosphorescenz und verschiedene Eigenschaften des elektrischen Funkens." Poggendorff's Annalen, Band XLVIII, p. 540. — „Neue Eigenschaften des elektrischen Lichtes in Bezug auf Phosphorescenzerregung." Pogg. Ann. Band XLIX, p. 543.

Biot und Becquerel: „Natur der von dem elektrischen Funken ausgehenden und Phosphorescenz erregenden Strahlung." Pogg. Ann. Band XLIX, p. 202.

Pearseall: „Des Effets que produit l'Électricité sur les Minéraux que la chaleur rend phosphorescens." Annales de Chimie et de Physique, tome XLIX, 1832, p. 346. Auszug: „Les résultats que j'ai obtenu, semblaient conduire à admettre que l'électricité pouvait non seulement modifier la propriété phosphorescente des corps, en augmenter l'intensité, la leur rendre lorsquils l'ont perdue, mais aussi la faire naitre dans des substances qui jusqu'alors n'avaient point paru la possèder."

Pearseall: „Wirkung der Elektricität auf die Phosphorescenz der Körper." Pogg. Ann. Band XX, p. 252, Band XXII, p. 566.

Sarasin: „De la phosphorescence des gaz raréfiés après le passage de la décharge électrique." Annales de Chimie et de Physique, tome XIX, 1870, p. 180. Bemerkungen hierzu von de la Rive, selber Band, p. 191.

Stürtz: „Ueber Phosphorescenz-Erscheinungen." Wied. Ann. Band VIII, 1879, p. 528.

Wiedemann E.: „Ueber das durch elektrische Entladungen erzeugte Phosphorescenzlicht." Wied. Ann. Band IX, 1880, p. 157.



**Die Grösse des Lampenkörpers.** Betreffs der Grösse des Lampenkörpers sagte Tesla früher: „Die Leichtigkeit, mit welcher in einer solchen Lampe der lichtgebende Körper zum Glühen gebracht werden kann, hängt auch von der Grösse der Glaskugel ab. Wenn ein vollkommenes Vacuum erreichbar wäre, so würde die Grösse der Kugel ohne Einfluss sein, weil in diesem Falle die Erhitzung alleinig der Entstehung von Ladungen beizumessen wäre, und alle Energie bloss als Radiation an die Umgebung abgegeben werden würde. In der Praxis ist ein solches Verhältniss nicht zu erreichen. Es bleibt immer etwas Gas in der Kugel übrig, und trotz der möglichst vollständigsten Auspumpung, muss, wenn so hohe Potentiale zur Anwendung kommen, der Raum in der Kugel als leitend angesehen werden. Tesla nimmt an, dass bei Abschätzung der Energie, welche von dem Filament an die Umgebung abgegeben wird, die innere Fläche der Kugel als die eine Belegung eines Condensators zu betrachten sei, während die freie Luft, und die anderen die Kugel umgebenden Gegenstände, die andere Belegung bilden. Wenn die Wechselzahl gering ist, unterliegt es keinem Zweifel, dass ein bedeutender Theil der Energie auch durch Elektrisirung der umgebenden Luft verstreut wird.

Gelegentlich seiner Londoner Versuche sprach sich Tesla über dieses Thema folgendermassen aus: „Ich habe kürzlich gefunden, dass bei gewöhnlichem oder bloss wenig vom gewöhnlichen abweichendem Luftdruck, wenn Luft gut leitend ist (und also bei gegebener Wechselzahl und Potential die von dem Leuchtkörper

abgegebene Energie gleich bleibt, ob die Glaskugel nun gross oder klein ist), die Temperatur des Leuchtkörpers eine höhere wird, wenn er in einer kleinen Kugel eingeschlossen ist, weil in diesem Falle die Wärme besser concentrirt oder zurückgehalten wird. — Bei niederem Druck, wenn die Luft mehr oder weniger leitend wird, oder wenn die Luft erwärmt wurde, so dass sie hierdurch leitend wurde, wird der Leuchtkörper in einer grösseren Kugel in höherem Grade glühender, anscheinlich deswegen, weil in diesem Falle, unter sonst gleichen Vorbedingungen, von dem Körper mehr Energie abgegeben werden kann, wenn die Kugel gross ist. — Bei sehr hohem Vacuum, wenn die Materie in der Kugel „strahlend" wird, hat die grosse Kugel noch immer einen, wenn auch verhältnissmässig geringen Vorzug über eine kleine Kugel. — Bei ausserordentlich hohem Vacuum scheint, über eine gewisse Grösse der Kugel hinaus, kein merklicher Unterschied in der Erhitzung zu bestehen.

**Einfluss der Elektrisirung der Luft.** Um die Energieabgabe durch Elektrisirung der Luft besser zu ergründen, hat Tesla mehrere Versuche mit ausserordentlich hohen Potentialen und niedriger Wechselzahl angestellt. Er fand dann, dass, wenn man der Lampe, mit welcher experimentirt wird, die Hand nähert (das eine Ende des in der Lampe befindlichen Kohlenfadens ist mit einem Spulenende verbunden), ein starkes Zittern verspürt, welches von der Anziehung und Abstossung der Luftmolecüle herrührt, welche mittelst Induction durch das Glas hindurch elektrisirt sind. In einigen Fällen, wenn die Wirkung eine intensive war, hörte



Tesla einen Ton, dessen Entstehung er ebenfalls den soeben beschriebenen Ursachen zuschreibt.

„Wenn die Wechselzahl gering ist, kann man von dem Lampenkörper einen ausserordentlich starken Schlag erhalten. Im Allgemeinen soll man, wenn man Glaskugeln oder Gegenstände von gewisser Grösse mit einem Spulenende verbindet, auf die Erhöhung des Potentiales achten, weil es geschehen kann, dass sich durch das

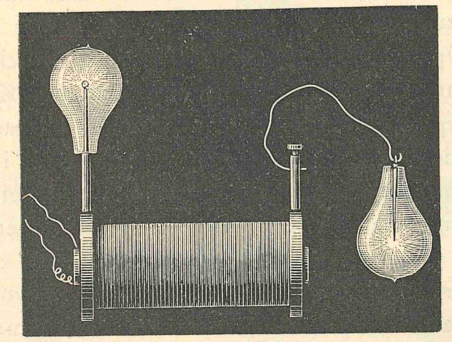


Fig. 59. Erglühen von Lampen mit einem Leitungsdrahte.

blosse Anschliessen einer Kugel oder einer Platte an das Spulenende, das Potential auf das Vielfache seines ursprünglichen Werthes erhöht. Wenn Lampen [1]) an das Spulenende

[1]) In seiner letzten Vorlesung in der National Electric Light Association (1. März 1893) hat Tesla eine gewöhnliche zweiklemmige Glühlampe gezeigt, welche mit einem Metallschirm versehen war. Der letztere war mit der einen Lampenklemme in leitender Verbindung und wurde als Ersatz für die in Fig. 65 gezeigte isolirte Metallplatte gebraucht. Die andere Lampenklemme war natürlich mit dem einen Spulenende, wie gewöhnlich, ver-

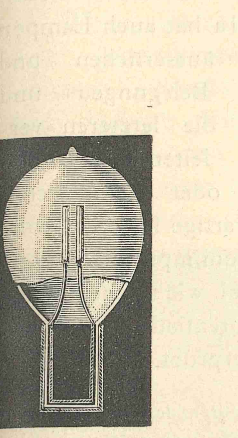
angeschlossen werden (Fig. 59), soll die Capacität ihrer Glaskörper eine solche sein, dass sie unter den vorhandenen Umständen das Maximum der Potentialerhöhung giebt. Es kann dann das nothwendige Potential mit weniger Drahtspiralen der Spule erreicht werden.

**Die Form des Lampenkörpers.** Auch die Form des Lampenkörpers ist von einiger Wichtigkeit, besonders, wenn man es mit Lampen von hohem Vacuum zu thun hat. Es scheint — sagt Tesla — dass eine Kugelform vorzuziehen sei, wobei der Leuchtkörper genau in den Mittelpunkt derselben kommen muss. Durch Experimente wurde erwiesen, dass in einer solchen Kugel der Leuchtkörper viel leichter zum Glühen gebracht wird, als in anders geformten Lampenkörpern. Es ist natürlich vortheilhaft, auch dem Leuchtkörper selbst eine kugelförmige Gestalt zu geben. In allen Fällen jedoch soll sich der Leuchtkörper im Mittelpunkte des Glaskörpers befinden, oder im Allgemeinen dort, wo die von dem Glase zurückprallenden Molecüle zusammentreffen. (Dies könnte auch in einem cylindrischen Gefässe mittelst eines oder zweier, in der Achse desselben befindlichen geraden Leuchtfäden, erreicht werden, oder wahrscheinlich auch in parabolischen Glaskörpern, wo sich der Leuchtkörper im Brennpunkte der letzteren befindet.) Welche Form der Lampenkörper nun auch haben

bunden. In diesem Falle wurde das Erglühen des Kohlenfadens sowohl durch den Durchgang des Stromes, als auch gleichzeitig durch das Bombardement der Molecüle hervorgebracht, und braucht daher die isolirte Platte (in diesem Falle der Schirm) verhältnissmässig klein zu sein.



möge, so wird sich bei niederem Vacuum ein gerader Kohlenfaden in allen seinen Theilen gleichmässig erwärmen; ist aber das Vacuum hoch und die Form des Lampenkörpers beispielsweise eine kugel- oder birnen-



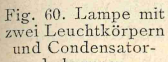


Fig. 60. Lampe mit zwei Leuchtkörpern und Condensatorbelegung.

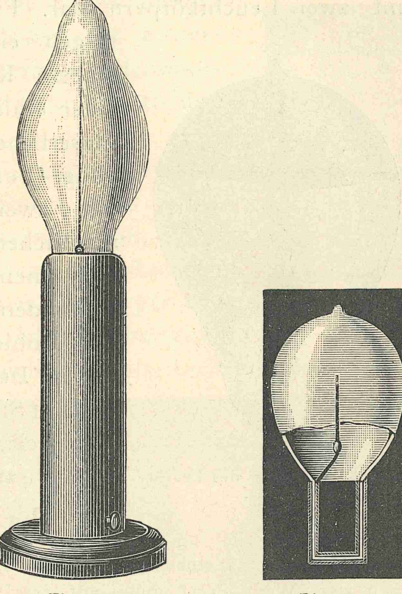


Fig. 61. Fig. 62.
Lampen mit Kohlenfaden u. Condensatorbelegung.

artige, so werden sich Brennpunkte bilden und der Faden wird an diesen Punkten oder in der Nähe derselben glühender werden als in seinen anderen Theilen.[1])

[1]) Tesla hat dies in seinen Londoner Experimenten an zwei kleinen gleich geformten Lampenkugeln nachgewiesen, bei welchen

**Lampen mit Condensatorbelegungen.** Um den Effect der besprochenen Lampen zu erhöhen, kann man den Glaskörper derselben mit Condensatorbelegungen versehen.

Vorstehende Figuren zeigen einige Typen der in Rede stehenden Lampen. Fig. 60 stellt eine Lampe mit zwei Leuchtkörpern dar. Fig. 61 und Fig. 62 zeigen eine Lampe mit einfachem Kohlenfaden und mit einer einfachen innerlichen und äusserlichen Condensatorbelegung. Tesla hat auch Lampen mit zwei äusserlichen und innerlichen Belegungen und mit einem die letzteren verbindenden leitenden Faden aus Kohle oder Metall, construirt. Derartige Lampen wurden mit Stromimpulsen enormer Wechselzahl, wie solche mittelst Condensatorentladungen erhältlich sind, erprobt.

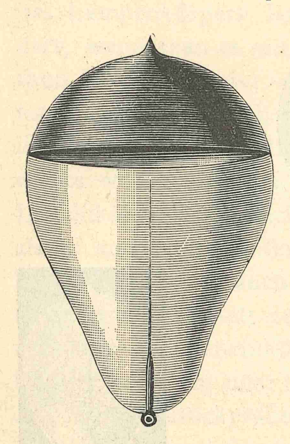


Fig. 63. Erhöhung des Leuchteffectes.

das Vacuum in der einen sehr nieder, in der anderen wieder sehr hoch war. Wenn die Lampen mit der Inductionsspule verbunden wurden, erglühte der im niederen Vacuum befindliche Kohlenfaden in gleichmässiger Weise, während jener im hohen Vacuum im Mittelpunkte der Kugel bedeutend heller glänzte, als in seinen anderen Theilen. Dasselbe Phänomen hat auch statt, wenn sich im Lampenkörper zwei Kohlenfäden befinden, von welchen jeder mit je einem Spulenende verbunden ist; ja, es zeigt sich selbst dann, wenn die Fäden ganz nahe zueinander stehen, vorausgesetzt, dass das Vacuum sehr hoch ist.



**Variation der Leuchtkraft.** Vorderhand die praktische Verwendbarkeit solcher Lampen ganz beiseite lassend, erwähnt Tesla, dass dieselben manche Vortheile bietende Eigenthümlichkeiten besitzen. Ihr Licht kann nämlich nach Wunsch mehr oder wenig hell gemacht werden, und zwar durch einfache Abänderung der jeweiligen Anordnung der äusserlichen und innerlichen Condensatorbelegungen, oder der inducirenden und inducirten Kreise.

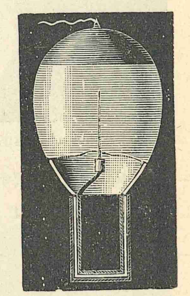


Fig. 64. Erhöhung des Leuchteffectes.

Wenn eine an ein einziges Spulenende angeschlossene Lampe zum Leuchten gebracht werden soll, kann dies dadurch leichter bewerkstelligt werden, dass man den Glaskörper von aussen mit einer Condensatorbelegung versieht, welche gleichzeitig als Lichtreflector dient[1])

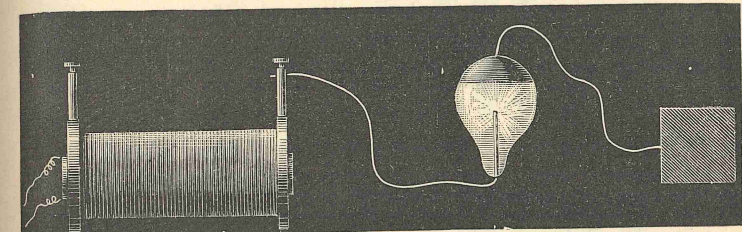


Fig. 65. Schema der Verbindungen zur Erhöhung des Leuchteffectes.

und welche mit einem isolirten Körper von gewisser Grösse verbunden wird. Derartige Lampen sind in

[1]) Fig. 66 stellt eine Lampe vor, deren Schirm als Condensator dient, und welche bei den Pariser Versuchen Tesla's zur Anwendung kam. (Lumière Electrique, XLIII, No 9). — Tesla

Fig. 63 und 64 dargestellt. Fig. 65 zeigt das Schema der Verbindungen. Die Leuchtkraft der Lampe kann in diesem Falle in weiten Grenzen durch die Veränderung der Grösse der Metallplatte, an welche die Condensatorbelegung angeschlossen ist, regulirt werden. Bei Betrachtung der Fig. 66 müssen wir einer Experimentallampe von Crookes gedenken, welche in ihrem äusseren Aussehen der Tesla-schen Lampe gleicht. Das obere Ende der Glaskugel ist mit einer Metallbelegung (Silber) versehen, während der Lampenhals

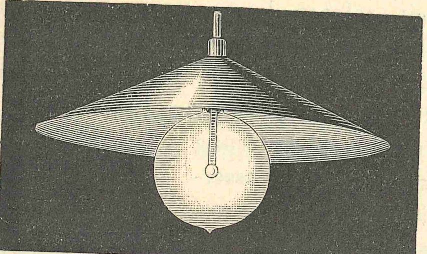


Fig. 66. Lampe mit Condensatorschirm.

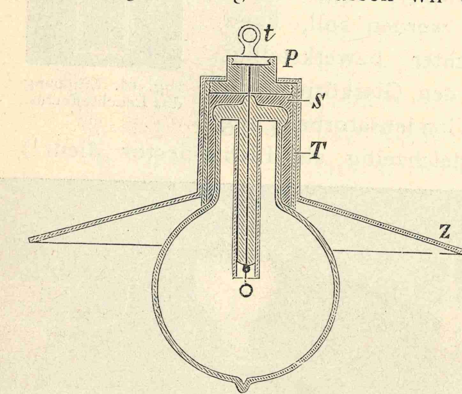



Fig. 67. Lampe mit Condensatorschirm.

hat die Lampe anlässlich seiner Londoner Vorlesung näher beschrieben (Fig. 67). $Z$ ist ein Zinkschirm, welcher in einen Hals $T$ ausläuft. Die Lampe befindet sich in einer Metallhülse, wie eine solche in Fig. 50 beschrieben wurde. Die Elektrode $t$ ist durch einen Stöpsel $P$ von dem Zinkschirm isolirt, welch letzterer zur Verstärkung des Lichteffectes und zugleich als Reflector dient.



mit einer anderen Belegung umgeben ist. Der Leuchtkörper besteht aus Kohle. In der Crookes'schen Lampe ist die obere Metallbelegung jedoch „nicht als Condensatortheil gedacht, sondern sie dient als Elektrode und auch als Reflector für die in der Glaskugel zurückgebliebenen Gasmolecüle, welche mit Hilfe dieses Reflectors an den Leuchtkörper angeschleudert werden und daselbst Wärme erzeugen" (Fig. 68).

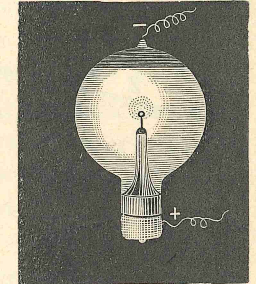



Fig. 68. Crookes'sche Condensatorlampe.

Fig. 69 zeigt eine phosphorescirende Glasröhre $T$, welche aus zwei Röhren von verschiedenem Durchmesser besteht. Am unteren Ende, im hohlen Raume der inneren Röhre befindet sich eine Staniolbelegung $C$, welche mit dem Drahte $w$ verbunden ist. Der letztere geht durch den inneren Theil der Doppelröhre, welche mit einem guten, dichten Isolator ausgefüllt ist. Am oberen Ende der Röhre befindet sich eine zweite Condensatorbelegung $C_1$, über welche der Zinkschirm $Z$ aufgestreift ist.

**Etwas über Luftcondensatoren.** „Um aus einem solchen Reflector oder Intensificator Vortheil ziehen zu können, müsste sämmtliche in einem Luftcondensator verausgabte Energie nutzbar gemacht werden können; d. h. es dürften weder im gasförmigen Medium selbst, noch anderswo Verluste statthaben. Diese Vorbedingung kann wohl nie erreicht werden, doch können die Verluste auf ein Minimum beschränkt werden. In vielen der beobachteten Phänomenen spielt die An-

wesenheit von Luft oder, allgemein gesprochen, eines gasförmigen Mediums, eine wichtige Rolle, nachdem sie eine Energieverstreuung durch moleculares Anprallen zulässt. Um die auf diesem Gebiete gemachten Er-

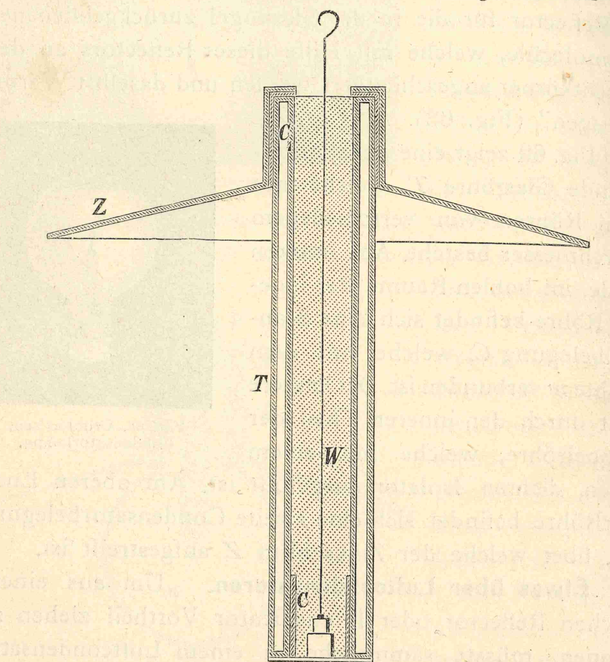



Fig. 69. Phosphorescirende Röhre mit Reflector.

fahrungen besser zu erläutern, mögen folgende Bemerkungen hier beigefügt werden:

„Es werde angenommen, dass das eine Ende einer aus vielen Windungen gut isolirten Drahtes bestehenden Wickelung (siehe Fig. 2) mit einem Pole einer In-



ductionspule, und das andere Ende mit einer im freien Raum befindlichen, isolirten Metallplatte oder -Kugel verbunden wäre. Wenn die Inductionsspule erregt wird, so wechselt das Potential der Kugel und das Verhalten der Wickelung ist ein ähnliches, als wäre ihr freies Ende gleichfalls mit der Inductionsspule verbunden. Wird eine Eisenstange in das Innere der Wickelung eingeführt, so erhitzt sich die Stange rasch, womit das Vorhandensein eines starken Stromes in der Wickelung erwiesen ist. Wie verhält sich nun die isolirte Kugel in diesem Falle? Sie kann zu einem Condensator werden, welcher die ihm zugeführte Energie aufspeichert und wieder abgiebt, oder die Kugel kann zu einem blossen Energiebehälter werden, und erst die das Experiment begleitenden Umstände bestimmen, welche von diesen beiden Eigenschaften der Kugel mehr oder weniger eigen ist. Die Kugel, welche mit einem hohen Potential geladen ist, wirkt inductiv auf die umgebende Luft oder auf was immer für gasförmiges Medium, welches gerade vorhanden ist. Die Molecüle oder Atome, welche sich nahe zur Kugel befinden, werden natürlich besser angezogen und bewegen sich durch eine grössere Strecke, als die entfernter befindlichen Atome. Wenn die der Kugel zunächst befindlichen Molecüle auf die Kugel aufprallen, werden sie von derselben abgestossen, und es finden auf allen, sich innerhalb der inductiven Wirkung der Kugel befindlichen Strecken, Collisionen statt. Es ist nun klar, dass bei beständigem Potential auf diesem Wege bloss geringe Energieverluste statthaben können, weil die der Kugel zunächst befindlichen Molecüle,

welchen durch stattgehabten Contact eine Zusatzladung zutheil geworden ist, bloss dann angezogen werden, wenn sie, wenn auch nicht die ganze, so doch den grössten Theil der Zusatzladung verloren haben, was nur nach einer grossen Anzahl von Collisionen statthaben kann. Der Umstand, dass bei beständigem Potential in trockener Luft nur geringe Verluste stattfinden, muss zu dieser Annahme führen.

„Ist aber das Potential der Kugel kein beständiges, sondern ein wechselndes, dann sind die Verhältnisse ganz anders. In diesem Falle findet ein rhythmisches Anprallen der Molecüle statt, ob nun die Molecüle nach erfolgtem Contacte mit der Kugel die Zusatzladung verlieren oder nicht; wird die Ladung nicht verloren, so ist das Aufeinandertreffen der Molecüle nur noch um so heftiger. Bei geringer Wechselzahl der Impulse würde aber trotzdem der durch das Aufeinandertreffen und die Collisionen entstehende Verlust nicht bedeutend sein, ausser die Potentiale wären ausserordentlich hoch. Bei hoher Wechselzahl aber, und mit mehr oder wenig hohen Potentialen kann der Verlust sehr gross werden. Der pro Zeiteinheit stattfindende Gesammt-Energieverlust ist proportional dem Producte der Anzahl der Aufeinandertreffen pro Secunde oder der Wechselzahl, und dem bei jedem Aufeinandertreffen stattfindenden Energieverluste. Die Energie eines Aufeinandertreffens muss aber proportional zum Quadrat der elektrischen Dichtigkeit der Kugel sein, weil angenommen wird, dass die den Molecülen verliehene Ladung proportional zu dieser Dichtigkeit ist. Hieraus folgert, dass der



gesammte Energieverlust proportional zum Producte aus der Wechselzahl und dem Quadrate der elektrischen Dichtigkeit sein muss; doch bedarf diese Annahme vorderhand einer experimentellen Bestätigung. Sind die vorstehenden Annahmen richtig, dann mag bei rapidem Wechsel des Potentiales eines von einem isolirenden gasförmigen Medium umgebenen Körpers, eine beliebige Energiemenge im Raume verstreut werden. Dann wird der grösste Theil der Energie nicht, wie allgemein angenommen wird, in Form von langen Aetherwellen verstreut, sondern er wird (z. B. bei einer isolirten Kugel) in Zusammenstoss- und Collisionsverlusten, d. h. in Wärmevibrationen auf der Oberfläche und in der Nachbarschaft der Kugel aufgebraucht. Um diese Verstreuung zu verhindern, muss man nothwendigerweise eine geringe elektrische Dichtigkeit anwenden: um so geringer, als die Wechselzahl eine grössere ist.

„Nachdem aber, wie soeben hervorgegangen, der Verlust mit dem Quadrat der Dichtigkeit abnimmt, und nachdem Ströme sehr hoher Wechselzahl bedeutende Verluste erleiden, wenn sie durch Leiter übermittelt werden, so folgert daraus, dass es besser sein mag, einen statt zweier Leitungsdrähte anzuwenden.

**Lampen mit einem Leuchtkörper.** Bei Anwendung rapid wechselnder Potentiale ist es nicht nothwendig, zwei Leuchtkörper in eine Kugel einzuführen, sondern man kann bloss einen, wie in Fig. 62, oder einen Faden, wie in Fig. 58, verwenden. Das Potential muss natürlich in letzterem Falle höher sein; dasselbe ist aber leicht erreichbar und muss nicht gerade gefährlich

sein. Durch die Anwendung von zwei Elektroden wird der Verlust, welcher aus dem Anprallen der Molecüle gegen den Glaskörper entsteht, herabgemindert. Man mag die eine Elektrode mit einem Spulenende und die andere mit der Erde oder mit einem isolirten Körper (z. B. mit einem an der Lampe anzubringenden Schirm) verbinden. Im letzteren Falle kann es geschehen, dass die eine Elektrode in besseres Glühen kommt als die andere. Tesla findet es jedoch im Allgemeinen besser, bloss einen Leuchtkörper und folglich auch nur einen Leitungsdraht zu verwenden. Der andere Leitungsdraht wird überflüssig, wenn man die Lampe in Contact oder gar nur in die Nähe eines isolirten Körpers bringt, dessen Oberfläche um so kleiner zu sein braucht, je höher die Wechselzahl der Ströme oder das Potential ist.

„Es ist möglich, mit nur einem Zuleitungsdrahte Lampen zum Leuchten zu bringen, wie sie in Fig. 57 dargestellt sind, wenn die eine Klemme der Lampe mit dem einen Spulenende und die andere Klemme mit einem isolirten Körper von erforderlicher Grösse verbunden wird. In allen Fällen dient der isolirte Körper dazu, die Energie in den umgebenden Raum abzugeben und kommt daher einem Rückleitungsdrahte gleich. Es können in den beiden letzterwähnten Fällen die Drähte, anstatt an einen isolirten Körper, auch an die Erde angeschlossen werden.[1])

[1]) „Die Intensität der Entladung wird durch die Anwesenheit von Leitern in der Nähe der Entladungsröhre stark beeinflusst, besonders durch Leiter von grosser Capacität oder solche, welche mit der Erde verbunden sind. Nehmen wir als einfaches Beispiel das einer luftleeren Glaskugel, umgeben von einem Primärkreis, welcher mit der Erde verbunden ist. In diesem Falle wird die Annäherung der Hand oder irgend eines mit der Erde verbundenen Leiters die Entladung heller und zu gleicher Zeit an den Ecken weniger scharf ausgedrückt machen. Das Berühren der Kugel, welche bereits mit der Erde verbunden ist, ruft einen wohl ausgeprägten Effect in der Vermehrung der Entladungsleichtigkeit hervor. (Prof. J. J. Thomson, Phil. Mag., October 1891.)



## Lampen mit Leuchtkörpern ohne Zuleitungsdrähte.

„Die Anwendung von Strömen hoher Wechselzahl macht es möglich, mittelst elektrostatischer oder elektromagnetischer Induction, durch das Glas einer Lampe hindurch, genügende Energie zu übermitteln, um durch dieselbe einen Kohlenfaden ins Glühen zu bringen, so dass Zuleitungsdrähte ganz überflüssig werden. Solche Lampen wurden schon früher vorgeschlagen, doch sind sie wegen Mangels entsprechender Hilfswerkzeuge nie gelungen ausgefallen.

Neuere Typen dieser Lampen sind in Fig. 70 und 71 gezeigt. Wie aus Fig. 70 ersichtlich, wird an eine weite Röhre $T$ eine dünnere M-geformte Röhre $U$ aus phosphorescirendem Glas angeschmolzen. In der Röhre $T$ befindet sich eine Spirale $C$ aus Aluminiumdraht, deren Enden mit kleinen Kugeln $tt_1$ aus Aluminium versehen sind, welche in $U$ hineinreichen. Die Röhre $T$ wird in einen Hälter eingeführt, in welchem sich eine Primärspule befindet, welche durch die Entladung von Leydener Flaschen erregt wird. Das in der luftleeren Röhre $U$ hervorgebrachte Licht ist ein helles und angenehmes.

Bei der in Fig. 71 gezeigten Lampe ist eine Glaskugel $L$ an einen Hals $T$ angeschmolzen. Der Hals enthält eine Spirale $C$, deren Enden durch zwei Glas-

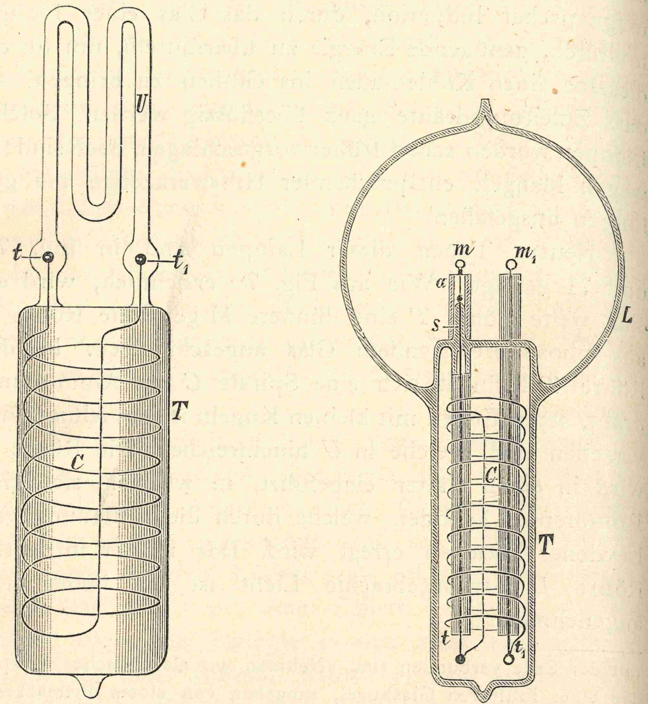



Fig. 70. Elektrodynamische Inductionsröhre.

Fig. 71. Elektrodynamische Inductionslampe.

röhren $tt_1$ hindurchgehen. Zwei Leuchtkörper $m\,m^2$ sind mit Kohlenfadenstücken verbunden, welch letztere an die durch $tt_1$ gehenden Drähte angeschlossen sind. Durch die Entladung von Leydener Flaschen in die



den Lampenhals umgebende Primärspule werden die Leuchtkörper ins Glühen gebracht.

„Wenn ein Secundärkreis in eine solche Lampe eingeschlossen wird, kann man mit demselben einen Condensator in vortheilhafter Weise combiniren. Wenn die Energieübermittelung durch elektrostatische Induction geschieht, sind natürlicherweise die in Anwendung kommenden Potentiale, bei von einer Maschine erhältlichen Wechselzahlen, sehr hoch. So ist beispielsweise bei einer Condensatoroberfläche von 40 Quadratcentimeter und bei einem 1 Millimeter dicken Glase guter Qualität, das nothwendige Potential ungefähr 9000 Volts, wenn die Wechselzahl 20.000 pro Secunde beträgt. Damit eine solche Spannung nicht gefährlich würde, könnte jede Lampe in den Secundärkreis eines Transformators von kleinen Dimensionen eingeschlossen werden, während die Primärwicklung der Transformatoren auf Spannung geschaltet würde. Der Regulirung würden keine Schwierigkeiten entgegenstehen, nachdem es bei Strömen von hoher Wechselzahl leicht ist, eine constante Stromstärke beizubehalten.

„Die unterbrechungsweisen Entladungen eines Condensators sind besonders geeignet, um derartige Lampen (welche keine Klemmen für Zuleitungsdrähte aufweisen) mittelst elektromagnetischer Induction in Wirksamkeit zu bringen. Die Wirkungen elektromagnetischer Induction sind in diesem Falle ausserordentlich kräftig und Tesla ist es gelungen, das Erglühen des Leuchtkörpers schon durch einige kurze Drahtspiralen hervorzurufen. Auf ähnliche Weise mag auch das Erglühen eines

einfachen, in sich geschlossenen Kohlenfadens bewerkstelligt werden.

**Das rotirende Lichtbüschel.** Wir wollen nun auf ein Phänomen übergehen, das eigentlich in die Classe der Lichtbüschelentladungen gehört. Da es aber in geschlossenem Raume, in hohem Vacuum auftritt, wollen wir es hier anführen. In hohlen Glaskugeln, in welche ein aus leitendem Materiale bestehendes Polende eingeführt ist, hat das Lichtbüschel selbst dann, wenn das Polende aus Aluminium ist, nur kurze Dauer; es kann jedoch in solchen Glaskugeln, in welchen sich kein Leiter befindet, für eine geraume Zeit erhalten werden. Tesla hat es am besten gefunden, für das zu beschreibende Experiment die in Fig. 72 und 73 gezeigten Formen anzuwenden.[1])

Fig. 74 zeigt die Form, welche das Lichtbüschel in einer Glaskugel annimmt, in welcher ein Leitungsdraht eingeführt ist. In solchen Kugeln dauert die Erscheinung nur kurze Zeit, manchmal kaum einige Minuten. Wir werden uns daher bloss mit Kugeln ohne Leitungsdraht befassen.

[1]) In Fig. 72 ist $L$ ein Glühlampenkörper, in welchen eine Barometerröhre $b$ eingeschmolzen ist, deren Ende zu einer Kugelform $s$ ausgeblasen ist. Sie kann auch mit einer dünnen Aluminiumröhre $t$ bekleidet werden, doch ist dies nicht unbedingt nothwendig. Die Kugel $s$ wird mit einem leitenden Pulver angefüllt, in welches ein Leiter $w$ eintaucht. — Fig. 73 zeigt einen Glaskörper, in welchem sich kein Leiter befindet, welcher auf das Lichtbüschel einwirken könnte. $L$ ist eine Glaskugel mit einem Hals $n$, auf welchen eine in eine Kugel $s$ auslaufende Röhre $b$ aufgeschmolzen ist. Es befinden sich also im Glaskörper zwei vollständig abgeschlossene Räume. Der Hals $n$ ist mit Stanniol bebekleidet, welcher mit der Stromquelle verbunden ist. Es ist von grösster Wichtigkeit, dass sich die Kugel $s$ genau im Mittelpunkte von $L$ befinde.



Wenn das Vacuum in $L$ (Fig. 72 und 73) sehr

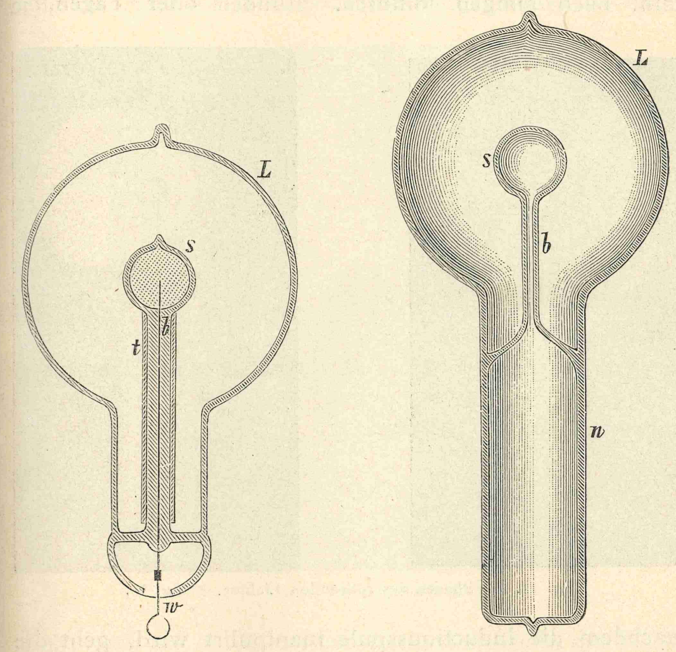
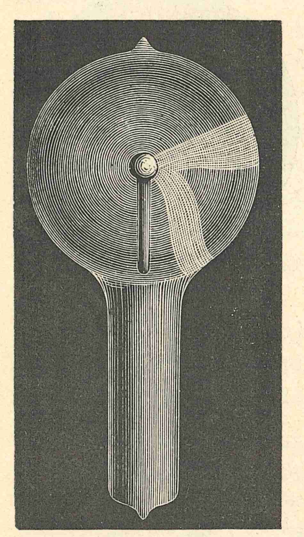



Fig. 72. Lampenkugeln für rotirendes Licht. Fig. 73.

hoch ist, erregt man die Glaskugel nicht etwa dadurch, dass man den Draht $w$ oder die Stanniolbekleidung mit einem Ende der Inductionsspule verbindet. Zur Erregung genügt gewöhnlich ein Befühlen des Glaskörpers mit der Hand. Die Kugel beginnt zuerst intensiv zu phosphores-

ciren, worauf sich in derselben ein weisses, mildes Licht herstellt. Kurz hierauf kann man wahrnehmen, dass das Licht in der Kugel ungleich vertheilt ist, und nach einiger Zeit gewinnt es das in Fig. 75 gezeigte Aussehen. Späterhin, nach einigen Minuten, Stunden oder Tagen, je



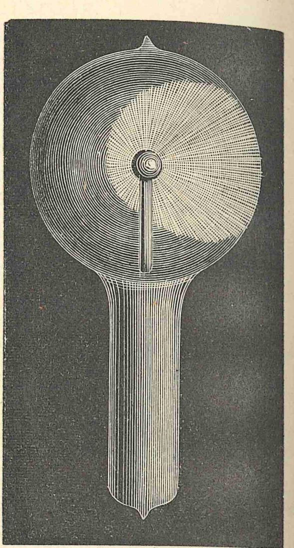


Fig. 74. Phasen des rotirenden Lichtes. Fig. 75.

nachdem die Inductionsspule manipulirt wird, geht die Lichterscheinung in die in Fig. 76 gezeigte Form über. Ein Erwärmen des Glaskörpers oder eine Erhöhung des Potentials beschleunigt diese Umwandlung.

„Wenn das Lichtbüschel die soeben beschriebene Form angenommen hat — sagt Tesla weiter — kann es zu einer ausserordentlichen Empfindlichkeit gegen



magnetische und elektrostatische Einflüsse gebracht werden. Ist die Kugel auf einem Draht aufgehangen und hat man alle Gegenstände von ihr entfernt, und nähert man sich dem Lichtbüschel, so begiebt sich dasselbe sofort auf die dem Beobachter entgegengesetzte Seite.

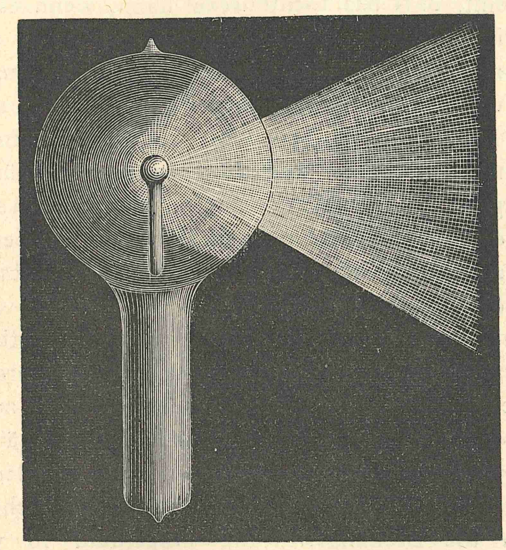


Fig. 76. Phase des rotirenden Lichtes.

Geht man um die Kugel herum, so beschreibt das Lichtbüschel denselben Weg, doch in entgegengesetzter Weise Bevor noch das Büschel empfindlich geworden ist, kann man es schon um das Polende herum drehen machen. Hauptsächlich dann, wenn sich das Lichtbüschel dreht (aber auch schon früher), wird es durch einen Magneten beeinflusst; in einem gewissen Zustande aber wird es gegen

magnetische Einflüsse in erstaunlicher Weise empfindlich. Ein kleiner permanenter Magnet kann das Lichtbüschel auf eine Distanz von 2 Meter sichtlich beeinflussen, seine Drehungsgeschwindigkeit erhöhen oder vermindern, und zwar je nach der Position, welche der Magnet einnimmt. Es scheint, dass das Lichtbüschel dann, wenn es gegen magnetische Einflüsse am empfindlichsten ist, dies in geringerer Weise gegen elektrostatische Einwirkungen ist.

Wenn der Glaskörper mit der Kugel *L* nach abwärts hängt, ist die Drehungsrichtung des Lichtbüschels wie jene einer Uhr. In der südlichen Hemisphäre würde sie eine entgegengesetzte sein und am (magnetischen) Aequator würde das Lichtbüschel wahrscheinlich fix bleiben. Die Drehungsrichtung kann durch einen nahe gebrachten Magneten umgekehrt werden.

„Die Rotation scheint, wenn sich das Lichtbüschel mit seiner Maximalgeschwindigkeit dreht, synchron mit der Wechselzahl, etwa 10.000 in der Secunde, zu sein. Die Drehungsgeschwindigkeit kann durch Annäherung oder Entfernung des Beobachters erhöht oder vermindert werden; man kann aber hierdurch nicht auch zugleich die Drehungsrichtung umkehren, in welche Position man auch die Glaskugel bringen mag. Wenn das Lichtbüschel in dem Stadium höchster Empfindlichkeit angelangt ist, wird die letztere durch Veränderung des Potentiales oder der Wechselzahl sofort beeinflusst, und hört dann die Drehung meistens auf. Auch Temperaturveränderungen haben Einfluss auf die Empfindlichkeit.

„Die Thatsache, dass sich das Lichtbüschel in einem permanenten Magnetfelde in einer bestimmten Richtung dreht, scheint zu erweisen, dass bei Wechselströmen hoher Wechselzahl die positiven und negativen Impulse nicht gleich sind, sondern dass immer einer von den beiden stärker als der andere vorherrscht. Diese Drehung in einer Richtung mag von der Einwirkung zweier Elemente desselben Stromes aufeinander herrühren, oder aber kann sie der Wirkung des von den aufeinander wirkenden Elementen hervorgerufenen magnetischen Feldes zuzuschreiben sein, wie in einem Motor, in welchem die Ankerwickelung auf Spannung mit der Feldwickelung geschaltet ist, ohne dass nothwendigerweise ein Impuls stärker sein müsste wie der andere. Der Umstand, dass das Lichtbüschel sich in was immer für Position der Glaskugel dreht, würde für die letztere Annahme sprechen. Wäre dies wirklich der Fall, so müsste sich das Lichtbüschel auf allen Punkten der Erdoberfläche in Drehung versetzen. Andererseits ist es wieder schwer zu erklären, warum ein permanenter Magnet die Drehung umkehren kann, und man muss die Präponderanz eines Impulses über den anderen annehmen.

Als Ursachen der Bildung des Lichtbüschels nimmt Tesla die elektrostatische Wirkung der Glaskugel und die Unregelmässigkeit der einzelnen Theile an. Wären die kleine Kugel *s* und der Lampenkörper *L* vollständig rund und wäre das Glas in allen seinen Theilen von gleicher Dicke und Qualität, so würde sich das Lichtbüschel nicht bilden, da der Ausströmungsdrang nach jeder Richtung hin gleich sein würde. Dass die Bildung des Lichtbüschels auf einer Unregelmässigkeit beruht, erhellt aus dem Umstande, dass es in einer und der-

selben Position zu bleiben versucht und sich meistens nur dann in Drehung versetzt, wenn es durch elektrostatische oder magnetische Einwirkung aus dieser Position gebracht wird.

Wenn das Lichtbüschel in einem ausserordentlich empfindlichen Zustande in einer Position verbleibt, können die interessantesten Experimente mit demselben ausgeführt werden. Der Beobachter kann in einer gewissen Stellung, in einer bedeutenden Entfernung, die Hand gegen die Kugel ausstrecken und das Lichtbüschel durch blosses Spannen der Armmuskeln in Drehung versetzen. Wenn es sich zu drehen beginnt und die Hand wird auf richtige Entfernung gehalten, ist es unmöglich, auch nur die geringste Bewegung auszuführen, ohne dadurch eine sichtbare Veränderung in der Geschwindigkeit des Lichtbüschels hervorzurufen. Eine an das freie Ende der Inductionsspule angeschlossene Metallplatte wirkt auf grosse Entfernung auf das Lichtbüschel ein, dessen Drehung bis auf eine Umdrehung pro Secunde verringernd.[1])

**Einwirkung von Magneten auf Entladungen im Vacuum.** Professor J. J. Thomson hat die magnetische Einwirkung auf Entladungen in luftleeren elektrodenlosen Röhren untersucht und dieselbe durch die Superposition zweier im entgegengesetzten Sinne statthabender Entladungen erklärt. In den behufs Untersuchung dieses Phänomens vorgenommenen Experimenten wurde eine viereckige luftleere Röhre ausserhalb eines Primärkreises angebracht. (Fig. 80.) Die Röhre war mit Ausbauchungen versehen, um eine möglichst weite Trennung der Entladungen zu gestatten. Wenn eine derartige Röhre in ein Magnetfeld eingeführt wurde, dessen Kraft im rechten Winkel zur Entladungslinie einwirkte, trennte sich die leuchtende Entladung in zwei Theile, welche nach entgegengesetzten Seiten der Röhre gedrängt wurden; jeder dieser Theile war von gleichförmiger Helle und zeigte keine Spur von Streifen. Es wurde bei diesem Experimente bemerkt, dass die Entladung viel schwieriger durch die Röhre zu gehen scheine, wenn der Magnet angewendet wurde, als dann, wenn er ferne war. Diese Wahrnehmung veranlasste Thomson zu mehreren Versuchen, welche erwiesen, dass sich durch die Einwirkung einer magnetischen Kraft im rechten Winkel zur Entladung, die letztere in bedeutender Weise verzögere.

Diese Wirkung wird am augenscheinlichsten, wenn die Entladung in Form eines Ringes durch eine hohle Glaskugel geht. Wenn eine solche Kugel einem starken Elektromagneten genähert wird, kann man die Funkenlänge so wählen, dass, wenn der Magnet ferne ist, in der Kugel eine glänzende Entladung stattfindet, und dass, wenn der Magnet nahe ist, gar keine Entladung stattfindet.

[1]) Tesla glaubt, dass das beschriebene Phänomen in der überseeischen Telegraphie praktische Anwendung finden könnte. Man könnte das Lichtbüschel schmal und intensiver machen, und könnten seine Abweichungen leicht photographirt werden. Zur Erforschung der in einem elektrostatischen oder magnetischen Felde auftretenden Kräfte wird das Lichtbüschel zu einem wichtigen Behelfe.

Professor J. J. Thomson sucht dies dadurch zu erklären, dass die Entladung in dem verdünnten Gas sich nicht plötzlich zu ihrer ganzen Intensität erhebt, sondern gewissermassen ihren Weg sucht. „Der Durchschlag durch das Gas findet zuerst längs der Linie statt, in welcher die elektromotorische Intensität ein Maximum ist, und es findet längs dieser Linie eine kleine Entladung statt. Diese Entladung stellt einen Weg aus voneinander losgelösten Molecülen her, längs welchem die nachfolgenden Entladungen mit grösserer Leichtigkeit statthaben können. In Folge der Einwirkung dieser elektrischen Kräfte befindet sich das Gas in einem Zustande unbeständigen Gleichgewichtes, da es, sobald es von kleineren Entladungen durchgangen wird, elektrisch schwächer und in geringerem Maasse fähig wird, etwa nachfolgenden Entladungen zu widerstehen. Wenn sich aber das Gas in einem Magnetfelde befindet, ruft die auf die Entladung einwirkende magnetische Kraft eine mechanische Kraft hervor, welch letztere die an der Entladung theilnehmenden Molecüle von der Linie maximaler elektrischer Intensität abdrängt. In Folge dieser Abdrängung wird es den nachfolgenden Entladungen nicht leichter gemacht, diese Linie zu durchgehen, trotzdem die vorhergehende schon durchgegangen ist. Es wird also, wenn der Magnet einwirkt, nicht dieselbe Instabilität vorhanden sei, wie jene, welche existirt, wenn keine magnetische Kraft einwirkt. Eine Bestätigung dieser Ansicht mag in dem Aussehen der Entladung gefunden werden, wenn die Intensität des Magnetfeldes derart vermindert wird, dass die Entladung bei Annäherung des Magneten kaum, aber nur kaum



statthaben kann. In diesem Falle hat die Entladung nicht die Form eines fixen beständigen Ringes sondern flackert in der Röhre unsicher hin und her.

Wird die Einwirkung des Magnetfeldes noch mehr vermindert, so dass die Entladung mit einer gewissen Leichtigkeit stattfinden kann, wird der helle Ring, der sich sonst zeigt, wenn der Magnet ferne ist, zu einem breiten Bande, und zwar zwischen zwei Ebenen, welche sich im rechten Winkel zur magnetischen Kraft längs eines Durchmessers der Kugel schneiden.[1])

Wenn die Linien magnetischer Kraft längs der Linie der Entladung gehen, erleichtert der Magnet die Entladung, anstatt sie zu verzögern. Professor Fitzgerald meint, dass diese Einwirkung magnetischer

---

[1]) Ueber den Einfluss magnetischer Felder auf Vacuumröhren sind von Plücker, de la Rive, Trève, Daniel, Secchi, Chautard, Crookes, Goldstein, Boltzmann und in neuester Zeit von A. Witz Versuche angestellt worden. (Elektrotechnische Zeitschrift 1890, Heft 31.) — „Ueber den hemmenden Einfluss des Magnetismus auf lichtelektrische Entladungen in verdünnten Gasen." Von J. Elster und H. Geitel. (Wiedemann's Annalen, Bd. 41, Heft 10, 1890. Elektrotechnische Zeitschrift 1890, Heft 14.)

De la Rive: De l'influence du magnétisme sur les jets électriques qui se propagent dans les milieux gazeux très raréfies. Annales de Chimie et de Physique, tome XX, 1870, p. 103.

De la Rive et Sarasin: „De l'action du magnétisme sur les gaz traversés par des décharges électriques." Annales de Chimie et de Physique, tome XXII, p. 181. — „Sur la rotation sous l'influence magnétique de la décharge électrique dans les gaz raréfiés et sur l'action mécanique que peut exercer cette décharge dans son mouvement de rotation." Annales de Chimie et de Physique, tome XXIX, 1873, p. 207.

Kräfte auf die Entladung vielleicht die Ursache der Strömungen sein könnte, welche in der Aurora borealis beobachtet werden. Die verdünnte Luft ist längs der Linien magnetischer Kraft elektrisch schwächer und die Entladung ist längs dieser Linien am hellsten.

**Die Leiter für Ströme hoher Wechselzahl.** „Wenn wir an die praktische Verwerthung der Ströme hoher Wechselzahl gehen wollen, müssen wir uns auch mit den Mitteln zur Fortleitung derselben beschäftigen. Es ist wünschenswerth, die höchst mögliche Wechselzahl zu erreichen, aber angenommen, wir hätten genügend praktische Mittel zur Hervorbringung derselben, wie sollen wir solche Ströme an die Lichtapparate leiten?[1])

[1]) Gewöhnliche Leiter verlieren rasch die Fähigkeit zur Fortleitung elektrischer Impulse, wenn deren Wechselzahl sehr bedeutend wird.

„Fliesst ein unveränderlicher elektrischer Strom — sagt H. Hertz — in einem cylindrischen Drahte, so erfüllt er jeden Theil des Querschnittes mit gleicher Stärke. Ist aber der Strom veränderlich, so bewirkt die Selbstinduction eine Abweichung von dieser einfachsten Vertheilung. Denn da die mittleren Theile des Drahtes von allen übrigen im Mittel weniger entfernt sind als die Theile des Randes, so stellt sich die Induction den Veränderungen des Stromes in der Mitte des Drahtes stärker entgegen als am Rande und in Folge hiervon wird die Strömung die Randgebiete bevorzugen. Wenn der Strom seine Richtung einige hundertmal in der Secunde wechselt, kann die Abweichung von der normalen Vertheilung schon nicht mehr unmerklich sein; diese Abweichung wächst schnell mit der Zahl der Stromwechsel, und wenn gar die Strömung ihre Richtung viele millionenmal in der Secunde wechselt, so muss nach der Theorie fast das ganze Innere des Drahtes stromfrei erscheinen und die Strömung sich auf die nächste Umgebung der Grenze beschränken. Nach der Auffassung



„Bei der Uebermittelung solch rapider Impulse — sagt Tesla weiter — können wir nicht daran denken, dieselben

von Heaviside und Poynting pflanzt sich die elektrische Kraft, welche den Strom bedingt, überhaupt nicht in dem Drahte selber fort, sondern tritt unter allen Umständen von aussen her in den Draht ein und breitet sich in dem Metall verhältnissmässig langsam und nach ähnlichen Gesetzen aus, wie Temperaturänderungen in einem wärmeleitenden Körper. Es wird also, wenn die Kräfte in der Umgebung des Drahtes die Richtung beständig ändern, die Wirkung dieser Kräfte sich nur auf eine sehr kleine Tiefe in das Metall hinein erstrecken; je langsamer die Schwankungen werden, desto tiefer wird die Wirkung eindringen, und wenn endlich die Aenderungen unendlich langsam erfolgen, hat die Kraft Zeit, das ganze Innere des Drahtes mit gleichmässiger Stärke zu füllen." („Ueber die Fortleitung elektrischer Wellen durch Drähte" von H. Hertz. Wied. Ann. Band XXXVII, p. 395.) Siehe ferner die diesbezüglichen Arbeiten von Prof. Hughes, Lord Raleigh, Lodge u. A.

Hertz: „Ueber die Vertheilung der Elektricität auf die Oberfläche bewegter Leiter." Wied. Ann. Band XIII, 1881, p. 266.

Heaviside O.: „Current Energy." The Electrician, Vol. X, p. 437. Vol. XI, p. 104, 149, 198, 246, 294, 342, 414, 510, 558. Vol. XII, p. 55, 127, 199, 270, 345, 367, 468. — „The Induction of currents in cores." The Electrician, Vol. XII, p. 583, 605. Vol. XIII, p. 54, 103, 133, 199, 338, 362, 386, 430. Vol. XIV, p. 7, 28, 47, 106, 149. — „Electromagnetic Induction and its propagation" Vol. XIV, p. 148, 178, 219, 306, 367, 430, 490. Vol. XV, p. 6, 73, 134, 170, 230, 270, 290, 306, 408. Vol. XVI, p. 6, 46, 86, 106, 146, 186, 206, 386, 469. Vol. XVII, p. 8, 88, 128, 212, 252, 296, 316. Vol. XVIII, p. 10, 143, 211, 281, 390, 457.

Cohn E.: „Zur Elektrodynamik der Leiter." Wied. Ann. Band XLV, p. 55. — Bemerkungen hierzu von Goldhammer, Wied. Ann. Band XLVI, p. 99.

De la Rive: „Ueber die Schwingungsbewegungen, welche discontinuirliche Ströme in leitenden Körpern hervorrufen." Arch. de sciences phys. XXV, p. 311. Pogg. Ann. Band CXXVIII, 1866, p. 452.

in einem von einem gasförmigen Medium umgebenen Drahte fortzuleiten, selbst wenn dieser Draht eine dicke, ausgezeichnete Isolirschicht besässe, denn der grösste Theil der Energie würde im molecularen Anprallen und in der hieraus resultirenden Wärme verloren gehen. Das an die Stromquelle angeschlossene Drahtende würde sich erwärmen und an das andere Ende würde bloss ein winziger Theil der zu übermittelnden Energie gelangen. Es ist daher, wenn solche Impulse verwerthet werden sollen, vor Allem nothwendig, die Verstreuung der Energie so viel als möglich zu verhindern.

„Die zu allererst möglich scheinende Lösung dieses Problems — sagt Tesla — wäre die Anwendung eines sehr dünnen Drahtes, umhüllt von einer möglichst dicken Isolirschicht. Es geht nun aus Experimenten, welche mit Strömen hoher Wechselzahl angestellt wurden, beinahe mit Gewissheit hervor, dass die von einem Drahte aus stattfindende Energieverstreuung annähernd proportional zur Wechselzahl ist, und dass sie in rapider Weise zunehme, wenn der Drahtdurchmesser ausserordentlich klein gemacht wird.[1]) Besonders dünne Drähte können, sobald sie nur mit einer Stromquelle von rapid wechselndem Potential verbunden sind, durch

---

[1]) Siehe die Versuche von Prof. Ayrton und Kilgour. „On the thermal emissivity of thin wires in air." — Siehe ferner: „On the dissipation of the electrical energy of the Hertz resonator." By Nikola Tesla. The Electrician, January 6, 1893. — Righi: „Sulla convezione elettrica." Atti della reale accademia dei Lincei. Vol. VI, 1. 1890, p. 151.



Erregung der sie umgebenden Luftmolecüle verhältnissmässig viel Energie verstreuen. Als nächste Möglichkeit erschiene — sagt Tesla weiter — die Anwendung elektrostatischer Beschirmung, wobei man sich die Isolation des Drahtes mit einer dünnen leitenden Schicht umgeben denkt, welch letztere an die Erde angeschlossen wird. Dieses Mittel würde aber zu keinem Resultate führen, weil alle Energie von der leitenden Schicht an die Erde abgegeben und nichts hiervon an das andere Drahtende, respective an den Lichtapparat gelangen würde. Einen Erdanschluss kann man bloss mittelst eines Leiters bewerkstelligen, welcher eine enorme Impedanz besitzt oder aber mittelst eines Condensators von ausserordentlich geringer Capacität. Doch würden durch den Erdanschluss die übrigen Schwierigkeiten noch immer nicht aufgehoben.

„Wenn die Wellenlänge der Impulse bedeutend kleiner ist als die Länge des Drahtes, dann werden auch entsprechend kurze Wellen in der leitenden Schicht auftreten gemacht werden und dies würde mehr oder minder dasselbe sein, wenn auch die leitende Schicht direct mit der Erde verbunden wäre. Man muss daher die leitende Schicht in Sectionen auftheilen, welche bedeutend kürzer als die Wellenlänge sind. Durch diese Anordnung wird zwar nicht eine vollkommene Beschirmung erreicht, aber sie ist tausendmal besser als gar keine. Es ist selbst dann vortheilhaft, die leitende Schicht in kleine Sectionen aufzutheilen, wenn die Stromwellen länger sind als die leitende Schicht.

„Wäre ein Draht mit einer vollkommenen elektrostatischen Beschirmung versehen, so würde das so viel

bedeuten, als wären alle Körper von dem Drahte unendlich weit entfernt. Die Capacität würde auf die geringe Capacität des Drahtes selbst reducirt sein. Es würde dann möglich sein, durch den Draht Stromvibrationen von sehr hoher Wechselzahl auf ungeheure Distanzen zu senden, ohne dass hierdurch die Eigenthümlichkeit dieser Vibrationen bedeutend verändert würde. Von einer vollkommenen Beschirmung kann natürlich nicht die Rede sein.[1])

**Entbehrlichkeit aller Fernleiter.** „Aber solche Kabel, wie die eben besprochenen, werden wohl nie construirt werden, denn es muss eine Zeit kommen, in welcher wir alle Fernleiter überhaupt entbehren werden können. Es wird möglich werden, an irgend einem Punkte der Erdoberfläche, von einer centralen Energiequelle aus, einen Motor in Gang zu setzen, ohne dass es hierzu eines anderen Anschlusses bedürfe als jenen an die Erde. Wenn man mit Hilfe eines mächtigen Maschinensystems rapide Variationen des Erdpotentials hervorrufen könnte, so müsste ein an die Erde angeschlossener und bis in die oberen, leitenden Luft-

[1]) Tesla glaubt, dass durch Anwendung einer Beschirmung für Drähte die überseeische Telephonie möglich gemacht werden könnte. Der mit Guttapercha isolirte Draht sollte mit einer leitenden, in Sectionen aufgetheilten Belegung versehen sein. Auf diese letztere käme wieder eine Guttaperchaschicht zu liegen, worauf erst die Eisenpanzerung folgt.

J. J. Thomson hat im November 1891 bekannt gegeben, dass er sich mit dem Problem der Vertheilung von Strömen hoher Wechselzahl über ein Leitungsnetz, befasse. Die Resultate dieser Versuche sind noch nicht bekannt gegeben worden.



schichten hinauf reichender Draht, von einem Strom durchflossen sein, dessen Stärke durch Anschluss eines Körpers von gewisser Grösse an das freie Drahtende erhöht werden könnte. Dieser Strom könnte in einen solchen niederer Spannung umgewandelt, und zum Betriebe eines Motors oder zu anderen Zwecken verwendet werden. Dieses für die Wissenschaft hochinteressante Experiment könnte am besten auf einem Schiffe in See gemacht werden. Wäre die hierbei erzielte Energie auch nicht zu motorischen Zwecken verwendbar, so müsste sie gewiss zur Uebermittlung von Nachrichten anwendbar sein.

Es ist zweifelsohne möglich, eine solche Art elektrischer Störung hervorzurufen, die auf allen Punkten der Erde mittelst geeigneter Instrumente wahrnehmbar gemacht werden kann. Es mag an einem Centralpunkte ein elektrischer Oscillator geschaffen werden, der mittelst Resonanz die in seiner Nähe befindlichen elektrischen Apparate bethätigt.

## Vacuumlampen ohne Leuchtkörper.

**Versuche mit elektrodenlosen Vacuumröhren.** Die den Forscher am meisten anregenden und interessirenden Versuche sind wahrscheinlich jene, welche mit luftleer gemachten Röhren vorgenommen werden. Wie anzunehmen ist, muss eine Stromquelle von rapid wechselnden Potentialen fähig sein, die Röhren von einer bedeutenden Entfernung aus zu erregen, und sind die auf diese Weise erzielten Lichteffecte bemerkenswerth.

Tesla hat es im Verlaufe seiner diesbezüglichen Experimente versuchen wollen, mittelst elektromagnetischer Induction eine Röhre zu erregen, welche gar keine Elektroden besass, und zwar bildete die Röhre den Secundärkreis der Inductionsanordnung, während in dem Primärkreis die Entladungen einer Leydener Flasche stattfanden.[1]) Diese Röhren hatten die verschiedensten Formen und Tesla erzielte Lichteffecte, welche er ursprünglich ganz auf elektromagnetische Induction zurückführte. Bei genauerer Untersuchung des Phänomens aber fand Tesla, dass die hervorgebrachten Effecte mehr *elektrostatischer* Natur seien. Diesem Umstande ist es zuzuschreiben, dass die hier in Anwendung gekommene Erregungsmethode eine verschwenderische ist: der Primärkreis ist nämlich kurzgeschlossen und das Potential und folglich auch der elektrostatische inductive Effect wird bedeutend vermindert.

---

[1]) Es ist bekannt, dass man durch Annäherung an einen Conductor einer Influenzmaschine in elektrodenlosen Röhren oder Kugeln das verdünnte Gas zum Leuchten bringen kann, wenn Entladungen stattfinden. Dieses Leuchten wurde als Folge der Influenz aufgefasst, derart, dass beim Laden des Conductors allmähliche Scheidung der Elektricitäten im Innern der Röhre einträte, beim plötzlichen Entladen Wiedervereinigung unter Lichtentwickelung. Hittorf, Moser, Lehmann u. A. haben nachgewiesen, dass auch direct durch Induction ein Leuchten solcher Röhren eintritt. — Worthington (Phil. Mag. (5) Band 19, p. 218, 1885) muthmasste, dass dieses Leuchten durch keinerlei Strom entstünde, sondern vielmehr dem Hin- und Herschwanken der Induction in der Röhre entspräche. Siehe auch Hittorf's Versuche, Wied. Ann. Band XXI, p. 138.



Tesla hat gelegentlich seiner Londoner Vorlesung einiger Experimente von Prof. J. J. Thomson gedacht, und wir müssen daher, bevor wir uns im Gedankengange Tesla's weiter bewegen, auf die Thomson'schen Versuche übergehen, welche das höchste Interesse verdienen.

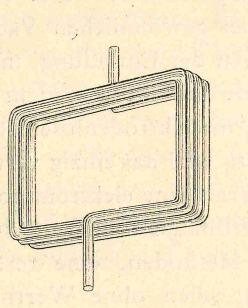
**J. J. Thomson's Experimente.** Professor J. J. Thomson[1]) hat die Wahrnehmung gemacht, dass die Entladungen im Vacuum bedeutend vereinfacht würden, wenn ihre Bahn ganz gasförmiger Natur wäre. Sobald dies der Fall ist, seien die bei gewöhnlichen Vacuumröhren beobachteten Verästungen der Entladung, und der die negative Elektrode umgebende dunkle Fleck, nicht wahrnehmbar. Es sei nicht so leicht, in elektrodenlosen Röhren Entladungen zu bewerkstelligen, weil das einzig verwerthbare Mittel, um im Entladungskreis eine elektromotorische Kraft herzustellen, in elektromagnetischer Induction bestünde. Die gewöhnlichen Methoden, eine veränderliche Induction hervorzurufen, seien ohne Werth, und man habe daher zu den oscillatorischen Entladungen einer Leydener Flasche gegriffen, welche die Hauptbedingungen eines Stromes bieten, dessen Maximalwerth enorm und dessen Wechselzahl ausserordentlich gross sei.

Die Entladungskreise, welche die Form von hohlen Glaskugeln oder von spiralförmig gebogenen Glasröhren hatten, wurden in die nächste Nähe zu mit Queck-

---

[1]) „Some Experiments on the electric discharge in Vacuum tubes" von Professor J. J. Thomson im Meeting of the Physical Society at Cambridge, 9. Mai 1891. Aufzeichnungen eines Zuhörers, veröffentlicht im „Electrician" vom 22. Mai 1891 — „The Electrical World", Vol. XVII, Nr. 24, p. 436.

silber gefüllten Röhren gebracht, welche die Bahn der oscillatorischen Entladung bildeten. Die ganze Anordnung kam daher den Windungen einer Inductionsspule gleich, deren Primärkreis von den mit Quecksilber gefüllten Röhren, der Secundärkreis aber von den Vacuumröhren gebildet war. — Bei dieser Anordnung braucht die Leydener Flasche nicht gross zu sein, auch sollen weder primäre noch secundäre Spule viele



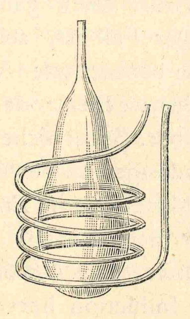


Fig. 77. J. J. Thomson's Experimente. Fig. 78.

Windungen haben, weil dies die Selbstinduction in der ersteren und die Entladungsbahn in der letzteren, vergrössern würde. Die Vermehrung der Selbstinduction im Primärkreis mindert die E. M. K. im Secundärkreis herab, während die Verlängerung der Secundärspule keineswegs die E. M. K. pro Längeneinheit vergrössert. Zwei oder drei Windungen (Fig. 77) wurden für jeden der beiden Kreise als für genügend befunden. Bei der Entladung einer Leydener Flasche zwischen zwei fein polirten Knöpfen im Primärkreis sah man längs des secundären Kreises herum ein volles gleichförmiges Lichtband.



Eine luftleer gemachte Glaskugel (Fig. 78), welche Spuren von Oxygen enthielt, wurde in einen Primärkreis von wenigen Windungen eingeführt. Sobald die Entladung der Flasche stattfand, sah man in der Kugel, nahe zum Primärkreis, einen Lichtkreis, der von einer Art Purpurglimmen begleitet, etwas über eine Secunde andauerte. Wurde die Kugel erhitzt, so verminderte sich hierdurch die Dauer des Glimmens in bedeutendem Maasse, und das letztere konnte durch die Annäherung eines Magneten sofort verschwinden gemacht werden.

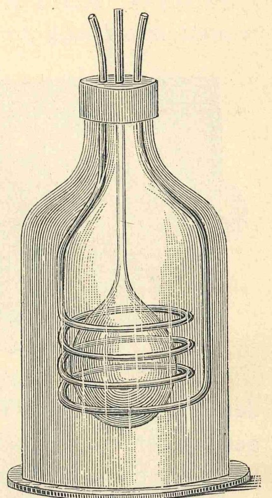


Fig. 79. J. J. Thomson's Experimente.

Eine andere luftleere Glaskugel (Fig. 79), um welche eine Primärspule gewunden war, wurde in der Glocke einer Luftpumpe untergebracht, und wenn der Druck in der Glocke ungefähr derselbe war, wie jener der Luft, so trat die secundäre Entladung in der Kugel wie gewöhnlich auf. Wurde aber die Glocke ausgepumpt, so wurde die Lichterscheinung immer schwächer, bis sie endlich unsichtbar wurde. Das weitere Auspumpen der Glocke rief eine Lichterscheinung ausserhalb der Kugel hervor.

Professor J. J. Thomson hat gleichzeitig wahrgenommen, dass die Leitungsfähigkeit einer elektroden-

losen Röhre, mit der Verminderung des Druckes, bis zu einem gewissen Punkte zunehme und dann wieder abnehme, woraus hervorgeht, dass der hohe Widerstand eines beinahe vollkommenen Vacuums keineswegs dem Vorhandensein von Elektroden in demselben zuzuschreiben sei.

Fig. 80. J. J. Thomson's Experimente.

**Elihu Thomson's Experimente.** Professor Elihu Thomson[1]) hat ähnliche Versuche angestellt. Es kam hierbei ein geschlossener, luftleer gemachter Ring in Anwendung, der aus einer ungefähr 1 Zoll starken Glasröhre angefertigt war, und dessen äusserer Durchmesser ungefähr 6 Zoll betrug. Unter den Ring wurde eine Windung eines stark isolirten Drahtes gelegt, der einen Theil der Entladungsbahn der äusseren Belegung einer Leydener Flasche bildete. Die letztere war so angeordnet, dass sie durch eine Töpler-Holtz'sche Maschine rapid geladen und entladen wurde. Bei jeder Entladung der Flasche fand auch in der Röhre eine Entladung statt, deren äusseres Ansehen jenes eines Lichtbandes im luftleeren Raume (Fig. 81) war.

**Tesla's Versuche.** Tesla[2]) sagt im Zusammenhang mit diesen Experimenten, dass er schon viel früher

[1]) Electrical Engineer, New-York, 24. Juni 1891.

[2]) Electrical Engineer, New-York, 1. Juli 1891. — The Electrician, 17. Juli 1891.



mit einem in Fig. 82 dargestellten Apparate ähnliche Versuche angestellt habe. Dieser Apparat besteht aus einer in eine gewöhnliche Glühlampenkugel eingekitteten Glasröhre, in welche der Primärkreis in Form einer Spirale aus dickem, gut isolirtem Kupferblech hineinragt. Der Secundärkreis wird durch den inneren

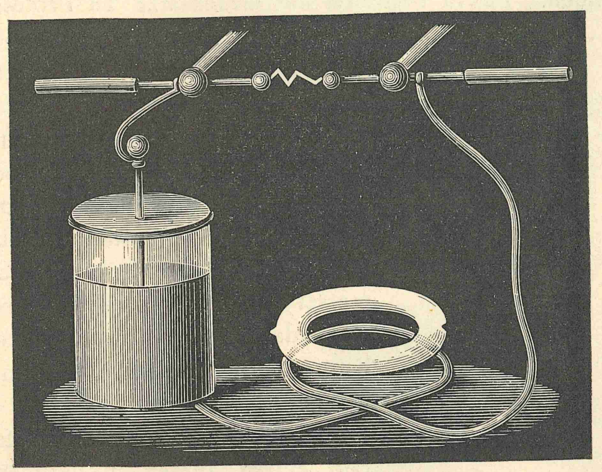


Fig. 81. Elihu Thomson's Experimente.

Raum der Glaskugel gebildet. Diese Anordnung wurde getroffen, um eine polirte Oberfläche in das Innere der Röhre einführen zu können, und wurde auch dieses Zweckes wegen die letzte Windung des Kupferbleches mit einem dünnen Silberbleche plattirt.

Tesla hat gefunden, dass bei diesen Experimenten die Anwendung einer Wechselstrommaschine von mässiger Wechselzahl, für die Erregung der Inductions-

spule, durch welche die Leydener Flasche geladen wird, vortheilhaft ist. In diesem Falle kann, bevor die Entladung im Kupferblech stattfindet, die Röhre oder die Glaskugel leicht erregt und hierdurch die Bildung des Lichtkreises erleichtert werden.

**Elektrostatische oder elektromagnetische Wirkungen.** Tesla bestreitet im Gegensatze zu Professor J. J. Thomson, dass die besprochenen Phänomene elektromagnetischer Einwirkung zuzuschreiben seien. Zur Bekräftigung seiner Ansicht führt er einige seiner Experimente an. Wenn man eine gewöhnliche luftleere Röhre (am besten von grossem Durchmesser) mit einer als Primärkreis dienenden Spirale aus dickem Kupferdraht umgiebt, kann man in der Röhre die in Fig. 83 gezeigte Lichtspirale hervorrufen.

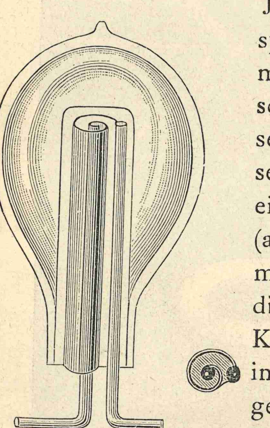


Fig. 82. Tesla's Experimente.

Bei einem dieser Experimente wurde ein sonderbares Phänomen beobachtet. Es bildeten sich nämlich in der Röhre zwei intensiv leuchtende Kreise, und zwar jeder der beiden nahe zu einer Windung der primären Spirale. Tesla schrieb dies der Existenz von Knoten in der Primärspirale zu. Die Kreise waren durch eine schwach leuchtende Spirale verbunden, welche parallel zur Primärspirale und in nächster Nähe zu ihr lief. Um diesen Effect hervorzubringen, musste die Leydener



Flasche bis aufs äusserste in Anspruch genommen werden. Die Windungen der Spirale suchen sich zu schliessen und Kreise zu bilden; dies ist aber voraussetzbar, und muss nicht nothwendigerweise auf eine elektromagnetische Wirkung hinweisen, während die Thatsache, dass man längs der Drahtwindung ein Glimmen in der Form einer offenen Spirale hervorbringen kann, für eine elektrostatische Wirkung spricht.

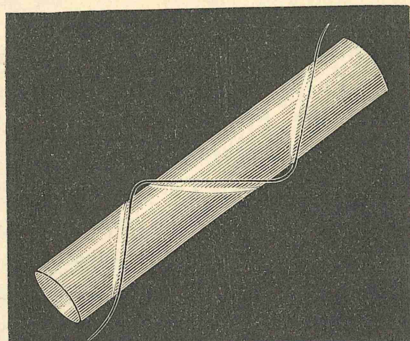


Fig. 83. Tesla's Experimente.

Ein anderes Experiment ist in Fig. 84 dargestellt. In diesem Falle wird eine gewöhnliche Glühlampenkugel mit einer oder zwei Windungen dicken Kupferdrahtes *P* umgeben, wodurch bei jedesmaliger Entladung der Leydener Flasche ein Lichtkreis *L* in der Kugel hervorgerufen wurde. Die Kugel war auf der der Primärspirale entgegengesetzten Seite mit einer

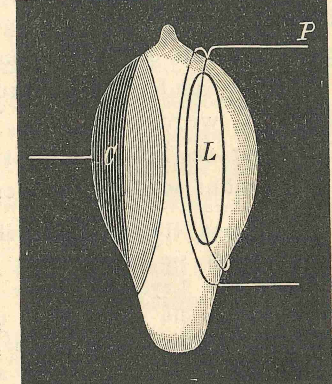



Fig. 84. Tesla's Experimente.

Stanniolbelegung $C$ versehen, und jedesmal, so oft man die Belegung mit der Erde verband, wurde die Leuchtkraft des Lichtkreises bedeutend vermehrt. Dies war augenscheinlich elektrostatischer Wirkung zuzuschreiben.

Tesla bemerkte bei anderen Experimenten, dass, wenn die Primärspirale enge an dem Glas anliege, sich der Lichtkreis leichter bilde und scharfe Umrisse zeige, doch hat Tesla nicht wahrgenommen, dass im Allgemeinen diese Kreise so ganz scharfe Umrisse zeigen, wie sie von Professor J. J. Thomson angegeben wurden. In den Experimenten Tesla's waren diese Kreise breit, und oft war das ganze Innere der Kugel oder der Röhre erhellt.[1] Auch hat Tesla das Purpurglimmen wahrgenommen, von dem Professor J. J. Thomson spricht. Die Kreise zeigten sich aber immer in nächster Nähe zur Primärspirale und wurden bedeutend leichter hervorgerufen, wenn die letztere ganz enge an das Glas anlag.

Eine andere Bemerkung, welche von Tesla gemacht wurde, ist die, dass, wenn die inductive Capacität des Mediums zwischen Primär- und Secundärkreis erhöht wird, auch der inductive Effect zunimmt.

[1]) Schon Hittorf hat wahrgenommen, dass eine luftleere Röhre, wenn sie in die Nähe eines Drahtes gebracht wird, in welchen eine Leydener Flasche entladen wird, sich erhelle. Da die Entladung die ganze Röhre erhellte, konnte sie aus elektrostatischer Wirkung erklärt werden. — Siehe Wiedemann's Annalen, Vol. XXI, p. 138. — Siehe auch: Rimington: „Luminous Discharges in Electrodeless Vacuum Tubes." Paper read before the Physical Society April 28, 1893. — „Luminosity in Vacuum Tubes." The Electrician, Vol. XXXI, 1893, p. 198.



Tesla hat ebenfalls wahrgenommen, dass wenn eine Glaskugel von einem in sich selbst geschlossenen Drahte in der Ebene des Primärkreises umgeben wird, die Bildung des Lichtkreises nicht verhindert werden kann. Wird aber anstatt des Drahtes ein breiter Stanniolstreifen auf die Kugel aufgeklebt, so wird dadurch die Bildung des Lichtbandes verhindert.

Einige der J. Thomson'schen Experimente machen Tesla gleichfalls an eine elektrostatische Wirkung glauben; z. B. das Experiment mit der in der Glocke eingeschlossenen Glaskugel. Wenn die Glocke so weit ausgepumpt wird, dass das eingeschlossene Gas das Maximum seiner Leitungsfähigkeit erreicht, wird die Bildung des Lichtkreises in der Glaskugel und in der Glocke deswegen verhindert, weil der den Primärkreis umgebende Raum sehr leitungsfähig geworden ist. Wird die Glocke weiter ausgepumpt, nimmt die Leitungsfähigkeit des Raumes um den Primärkreis herum ab und der Lichtkreis erscheint nothwendigerweise zuerst in der Glocke, weil das verdünnte Gas hier der Primärspirale näher ist. Wäre aber der inductive Effect sehr mächtig, so würde der Lichtkreis wahrscheinlich auch innerhalb der Glaskugel erscheinen. Würde die Glocke bis auf den äussersten Grad ausgepumpt, so würde sich der Lichtkreis bloss innerhalb der Glaskugel zeigen, vorausgesetzt, dass der luftleere Raum nichtleitend wäre. Tesla's hauptsächlichstes Argument ist nun folgendes: „Ich habe durch Experimente erwiesen, dass, wenn die nämliche Entladung, welche durch den Primärkreis gesendet, kaum hinreichend ist,

ein Lichtband in der Glaskugel zu erzeugen, derart angeordnet wird, dass durch diese Anordnung der *elektrostatische* inductive Effect erhöht (exaltirt) wird, man luftleere elektrodenlose Röhren auf Distanzen von mehreren Fuss erregen kann."[1])

Professor J. J. Thomson bemerkt hierauf,[2]) dass es wohl viel leichter sei, Lichteffecte hervorzubringen, wenn die elektrostatischen Effecte thätig sind. Zur Illustration dieser Thatsache führt er an, dass schon bei seinem ersten Experiment mit der Entladung einer Leydener Flasche, die Röhre sich erhellte, dass er aber erst nach sechs Wochen andauernden Experimenten dahin gelangen konnte, in der luftleeren Röhre eine Entladung zu bewirken, welche der gewöhnlich als „elektrodynamischen" bezeichneten Wirkung zuzuschreiben sei. Man müsse einen klaren Begriff davon haben, was man unter elektrostatischer Wirkung verstünde. Wenn vor der Entladung der Flasche das Potential der Primärspule erhöht wird, so wird es über das Glas der Röhre eine Vertheilung von Elektricität hervorrufen. Wenn das Potential des Primärkreises plötzlich fällt, wird sich die Elektrisirung von selbst wieder vertheilen, und mag dann durch das verdünnte Gas gehen und hierdurch einen Leuchteffect hervorbringen. Während die Entladung der Flasche stattfindet, ist es schwer, und von einem theore-

[1]) Wenn man nämlich die Entladung durch den primären Stromkreis einer Inductionsspule leitet, und ein höheres Potential im secundären Stromkreise hervorbringt, welches dann auf eine Vacuumröhre elektrostatisch inducirend wirkt. N. T.

[2]) The Electrician, 24. Juli 1891, p. 340.



tischen Gesichtspunkte unwünschenswerth, den Effect in zwei Theile zu theilen, von welchen der eine „elektrostatisch", der andere „elektromagnetisch" genannt wird.

**Lichterzeugung durch elektrodynamische Induction.** Ueber den praktischen Werth der Bestrebungen, durch elektrodynamische Induction in einer luftleeren Röhre Lichterscheinungen hervorzurufen, äussert sich Tesla in folgender Weise: „Es ist wohl Manchem zur Ueberzeugung geworden, dass, je länger eine luftleere Röhre gemacht wird, die zum Durchgang einer Entladung in der Röhre per Längeneinheit der Röhre nothwendige elektromotorische Kraft, continuirlich geringer wird; es könnte daher, wenn die luftleere Röhre lange genug gemacht wird, selbst mit geringer Wechselzahl eine leuchtende Entladung in einer solchen, in sich selbst geschlossenen Röhre, hervorgerufen werden. Solch eine Röhre könnte in irgend einem Raume aufgehangen werden und würde einen einfachen Beleuchtungsapparat abgeben. Derselbe würde aber schwer herzustellen und zu behandeln sein. Es würde nicht angehen, die Röhre in geringen Längen herzustellen, weil alsdann bei niederer Wechselzahl bedeutender Verlust in den Belegungen entstünde. Würden aber Belegungen angewendet, so würde es vortheilhafter sein, der Röhre den Strom direct zuzuführen, indem man die Belegungen mit einem Transformator verbindet. Aber selbst wenn alle derartigen Einwände beseitigt wären, so würde bei geringer Wechselzahl die Lichterzeugung von geringem Nutzeffect sein. Wenn ausserordentlich hohe Wechselzahl angewendet wird, kann die Länge des

Secundärkreises (in anderen Worten die Länge der Röhre) nach Wunsch vermindert werden, und der Nutzeffect der Lichterzeugung wird vermehrt: vorausgesetzt, dass Mittel erfunden würden, um solch hohe Wechselzahl zu erreichen. Man wird daher aus theoretischen und praktischen Gründen auf hohe Wechselzahl geführt, und dies bedeutet hohe elektromotorische Kräfte und Ströme geringer Intensität im Primärkreise. Wenn man Condensatorentladungen anwendet — und dies ist das einzig bekannte praktische Mittel zur Erzielung dieser ausserordentlichen Wechselzahl — erhält man elektromotorische Kräfte von mehreren Tausend Volts für jede Windung der Primärspule. Man kann den elektromagnetischen Inductionseffect nicht durch Vermehrung der Windungszahl der Primärwickelung vervielfachen, denn man gelangt zum Schlusse, dass es am besten sei, bloss eine Windung zu nehmen, und dass man mit dem durch eine Windung erhältlichen Inductionseffect sein Auslangen finden müsse. Bevor man aber lange mit der enormen Wechselzahl experimentirt, welche nothwendig ist, um in einer kleinen Glaskugel eine elektromotorische Kraft von mehreren Tausend Volts hervorzurufen, erkennt man die grosse Wichtigkeit elektrostatischer Effecte, und diese letzteren gewinnen im Verhältniss zu den elektrodynamischen, an vermehrter Bedeutung, je mehr die Wechselzahl erhöht wird.

„Alles, was nun in diesem Falle wünschenswerth erscheinen muss, ist die Erhöhung der Wechselzahl, und das macht den Stand für die elektrodynamischen Effecte noch schlechter. Andererseits ist es aber ganz leicht, die elektrostatische Wirkung nach Belieben dadurch zu verstärken, dass man der Secundärspule mehr Windungen giebt, oder Selbstinduction und Capacität combinirt, um das Potential zu erhöhen. Auch soll nicht vergessen werden, dass durch Herabminderung der Stromstärke auf ihren geringsten Werth, und durch Erhöhung des Potentiales, die elektrischen Impulse hoher Wechselzahl leichter durch einen Leiter übermittelt werden können."



Diese und ähnliche Gedanken haben Tesla bewogen, seine Forschung den elektrostatischen Phänomenen zu widmen, und zu versuchen, die höchst möglichsten Potentiale bei höchst möglichster Wechselzahl hervorzubringen. Er fand dann, dass er mittelst eines, an eine entsprechend veranlagte Inductionsspule angeschlossenen Leiters, luftleere Röhren auf eine bedeutende Distanz erregen könne, und dass er durch Transformirung von oscillatorischen Condensatorströmen auf ein höheres Potentiale, wechselnde elektrostatische Felder hervorbringen konnte, deren Wirkung sich auf den ganzen Raum erstreckte, eine Röhre erhellend, wo immer sie auch im Raume angebracht wurde. Es ist die feste Ueberzeugung Tesla's, dass das gewöhnliche Licht, durch was immer für Bewegung es auch hervorgebracht sein möge, aus ungeheueren elektrostatischen Spannungen hervorgehe, welche mit ausserordentlicher Geschwindigkeit vibriren.

Die elektrostatische Natur der Induction in Vacuumröhren geht aus manchen Experimenten Tesla's hervor. Wenn der Beobachter sich nahe zur Inductionsspule befindet und er nimmt die Röhre in eine Hand, so erleuchtet sich die Röhre in glänzender Weise und

bleibt in diesem Zustande, wie nun auch ihre Position zu dem Körper des Beobachters sein mag. „Wäre die Wirkung eine elektromagnetische, so könnte sich die Röhre nicht erhellen, sobald sich der Körper des Beobachters zwischen ihr und der Spule befindet, oder ihre Leuchtkraft würde zum mindesten bedeutend verringert werden. Wenn die Röhre genau über die Mitte der Spule gehalten wird (die letztere ist in Sectionen aufgewickelt und die Primärspule ist symmetrisch zur secundären angelegt), so kann sie ganz dunkel bleiben, während man sie glänzend erhellen kann, sobald man sie ein wenig von der Mitte nach rechts oder nach links bewegt. Die Röhre erhellt sich nicht, weil sich in der Mitte die beiden Hälften der Spule neutralisiren und das elektrische Potential Null ist. Wäre die Wirkung eine elektromagnetische, müsste sich die Röhre gerade in der durch die Mitte der Spule hindurchgehenden Ebene am besten erhellen, weil der elektromagnetische Effect daselbst ein Maximum sein müsste. Wenn zwischen den Spulenenden ein Lichtbogen hergestellt wird, so verdunkeln sich die in der Nähe der Spule befindlichen Röhren und Lampen; dieselben erhellen sich aber sofort wieder, wenn der Lichtbogen aufgehört hat, und zwar weil sich das Potential erhöhte. Gäbe es hier einen elektromagnetischen Effect, so müsste er in beiden Fällen nahezu derselbe sein.[1])

[1]) Interessante Experimente mit elektrodenlosen Vacuumröhren wurden in letzter Zeit von Professor Wiedemann auf dem Meeting der British Association in Edinburgh (August 1892) angestellt und wurden dieselben von Bottomley und Professor Crookes besprochen.



„Wenn man eine Vacuumröhre auf einige Entfernung von der Spule und etwas näher zu einem Spulenende (am besten an einem in der Spulenachse gelegenen Punkte) bringt, kann man die Röhre dadurch leuchtend machen, dass man das eine Ende derselben mit einem isolirten Körper oder mit der Hand berührt, durch welchen Vorgang an dem betreffenden Spulenende das Potentiale erhöht wird. Wird die Röhre der Spule so weit genähert, dass sich die erstere durch die Einwirkung des ihr zunächst liegenden Spulenendes erhellt, so kann man die Röhre wieder dunkel machen, wenn man ein an das entgegengesetzte Spulenende angeschlossenes Drahtstück, mittelst eines isolirten Hälters, in die Nähe des der Röhre zunächst liegenden Spulenendes bringt, und hierdurch die Einwirkung des letzteren auf die Röhre stört. Diese Effecte sind zweifelsohne elektrostatische.

„Ebenso kann, wenn eine Röhre auf eine bedeutende Entfernung von der Spule gebracht wird, und der Beobachter sich auf einem Isolirschemel zwischen Spule und Röhre befindet, der Beobachter die Röhre dadurch erhellen machen, dass er ihr die Hand nähert, ja er kann sie selbst durch sein einfaches Verbleiben zwischen Röhre und Spule leuchtend machen. Dies würde bei elektromagnetischer Induction unmöglich sein, da der Körper des Beobachters als ein Schirm wirken würde.

**Veränderung des Lichteffectes.** „Wenn eine Inductionsspule durch ausserordentlich schwache Ströme erregt wird, kann der Beobachter dadurch, dass er mit

der Röhre ein Spulenende berührt, die hell gewordene Röhre verdunkeln, und er kann sie wieder erhellen, wenn er den Contact zwischen Spulenende und Röhre in einer solchen Weise aufhebt, dass sich zwischen beiden ein kleiner Lichtbogen herstellt. Dieser Vorgang ist offenbar der respectiven Erhöhung und Verminderung des Potentiales an diesem Spulenende, zuzuschreiben. In dem eben erwähnten Experiment, wenn die Röhre durch einen kleinen Lichtbogen erhellt wird, kann sie, wenn der Lichtbogen unterbrochen wird, dunkel werden, weil der elektrostatisch inductive Effect allein zu schwach ist, obwohl das Potential viel höher sein kann; wird aber der Lichtbogen hergestellt, so wird die Elektrisirung am Röhrenende viel grösser und sie erhellt sich folglich.

„Wenn eine Röhre durch ihre Annäherung an die Spule erhellt wird, und man hält die Röhre mit beiden Händen, so wird der zwischen den Händen liegende Theil der Röhre dunkel werden. Man kann die Lichterscheinung durch einfaches Ueberstreichen der Röhre mit der Hand vollständig verschwinden machen, und wenn man zu gleicher Zeit die Röhre auf eine solche Entfernung von der Spule bringt, dass sie von der Spule nicht mehr beeinflusst wird und also dunkel bleibt, wird der eigenthümliche Eindruck auf den Beobachter hervorgebracht, als ob das Licht durch das Ueberstreichen mit der Hand verwischt worden wäre.

„Wenn die primäre Spule wie in Fig. 27 seitlich eingeführt wird, und man bringt eine luftleere Röhre in den hohlen Raum auf der anderen Seite der Spule,



so wird sich die Röhre, in Folge der vermehrten Condensatorwirkung, in ausserordentlich intensiver Weise erhellen und die Streifen (Striae) sind in dieser Position ganz scharf ausgedrückt.[1]) In allen diesen beschriebenen Experimenten haben wir es offenbar mit elektrostatischen Wirkungen zu thun.

**Die Schirmwirkung.** Die Schirmwirkung weist ebenfalls auf die elektrostatische Natur der Phänomene hin und zeigt etwas von der Elektrisirung durch die Luft. Wenn beispielsweise eine Röhre in die Richtung der Spulenachse gebracht wird, so wird eine zwischen Spule und Röhre gelegte isolirte Metallplatte den Lichteffect in der Röhre glänzender machen. Ist die Röhre zu weit von der Spule entfernt, als dass sie sich erhellte, so kann sie durch Einführung einer isolirten Metallplatte in den Zwischenraum zwischen der Röhre und der Spule, leuchtend gemacht werden.[2]) Die Mächtigkeit

---

[1]) In Experimenten, die Professor J. J. Thomson mit elektrodenlosen Röhren anstellte, welche in das Innere einer durch die Entladungen einer Leydener Flasche erregten Inductionsspule eingeführt wurden, hatte die Entladung ein vollständig continuirliches Aussehen ohne Anzeichen von Streifen, von welchen Thomson in solchen Entladungen nie eine Spur bemerkte, obwohl er Tausende solcher Lichterscheinungen unter verschiedenen Umständen beobachtet hatte. (Phil. Mag. October 1891.)

[2]) Es wird das eine Ende einer luftleeren Röhre (Fig. 85) mit dem einen Spulenende verbunden und sie erhellt sich. Doch nimmt der Lichteffect graduell mit der Entfernung von der Spule ab. Wird jedoch das freie andere Röhrenende an einen leitenden Körper angeschlossen, so erhellt sich die Röhre in gleichförmiger Weise. (Pariser Experimente Tesla's. Lumière Electrique XLIII, No 9.)

dieser Wirkungen hängt bis zu einem gewissen Grade von der Grösse der Platte ab. Würde aber die Metallplatte mit der Erde verbunden, so würde ihre Interposition die Röhre immer dunkel machen, selbst wenn sich dieselbe sehr nahe zur Spule befände. Im Allgemeinen wird die Helligkeit der Röhre durch Interposition eines Körpers zwischen ihr und der Spule, in jenem Maasse erhöht oder vermindert, in welchem dieser Körper die Elektrisirung erhöht oder vermindert.

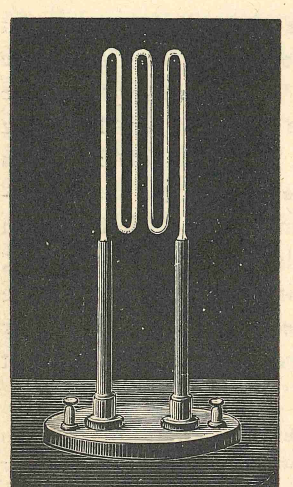


Fig. 85. Ungleiche Vertheilung der Lichteffecte.

Bei Versuchen mit isolirten Platten sollen dieselben nicht zu gross gewählt werden, weil sie sonst einen schwächenden Einfluss ausüben, und zwar wegen ihrer Leichtigkeit, Energie an die Umgebung abzugeben.

Wenn sich eine Röhre in einer gewissen Entfernung von der Spule erhellt, und man bringt ein Stück Hartgummi oder eine andere isolirende Substanz zwischen Röhre und Spule, so wird die Röhre dunkel werden. Die Interposition eines Dielektricums erhöht in diesem Falle die inductive Wirkung nur um ein Geringes, vermindert aber die Elektrisirung durch die Luft um Bedeutendes.



„Wenn wir mittelst einer Inductionsspule in luftleeren Röhren Lichteffecte hervorrufen, so sind dieselben in allen Fällen auf den rapiden Wechsel des elektrostatischen Potentiales zurückzuführen, und zwar auf den harmonischen Wechsel, wie solcher von einer Maschine erzeugt wird. Keinesfalls aber beruhen dieselben auf übereinandergeschichteten Vibrationen, deren Existenz man anzunehmen geneigt wäre.[1]) Solche übereinandergeschichtete Vibrationen sind bei der Verwendung einer Wechselstrommaschine unmöglich. Wenn eine Feder graduell zusammengepresst und dann ebenso langsam lose gelassen wird, bringt sie keine unabhängigen Vibrationen hervor; für diese letzteren ist ein plötzliches Freilassen der Feder nothwendig. Ebenso geschieht dies mit den von einer Maschine hervorgebrachten Wechselströmen: das Medium wird harmonisch angespannt und

[1]) Professor J. J. Thomson sagt: „Die Entladungen, welche in luftleeren Röhren statthaben, werden durch periodische Ströme erzeugt, so dass die Entladungen selbst periodisch sind, und das Leuchten wird durch in entgegengesetzten Richtungen verkehrende Ströme erzeugt. Nachdem dies der Fall ist, erschien es wahrscheinlich, dass die Einheitlichkeit des Lichtes in der Entladung von der Superposition zweier verstreuter Entladungen in entgegengesetzter Richtung herrühre, so dass sich die Stellen des Lichtmaximums der einen Richtung mit dem Lichtminimum der anderen decken. Nachdem diese Entladungen entgegengesetzte Richtung haben, werden sie auf entgegengesetzte Wege gedrängt werden, wenn sie der Einwirkung einer magnetischen Kraft, in rechten Winkeln zu ihnen ausgesetzt werden. Die in entgegengesetzten Richtungen statthabenden Entladungen können daher durch Anwendung magnetischer Kraft voneinander gesondert und getrennt für sich beobachtet werden."

freigelassen, und dies bringt bloss eine einzige Wellengattung hervor. Für die Hervorbringung von übereinandergeschichteten Wellen ist eine plötzliche Herstellung oder Unterbrechung eines Contactes, ein plötzlicher Durchbruch des Dielektricums, wie z. B. in der unterbrechungsweisen Entladung einer Leydener Flasche, nothwendig.

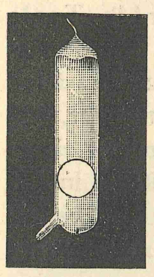
**Röhren ohne Elektroden. Phosphorescenz.** In allen den beschriebenen Experimenten können Röhren ohne Elektroden verwendet werden, und es unterliegt keiner Schwierigkeit, die Röhren so hell leuchten zu machen, dass man bei ihrem Licht lesen kann. Der Lichteffect wird durch phosphorescirende Körper, als: Yttrium, Uraniumglas u. s. w. bedeutend erhöht.[1]) Die Verwendung phosphorescirender Substanzen ist jedoch durch den Umstand beeinflusst, dass sie durch die mächtigen Einwirkungen, welchen sie ausgesetzt werden, langsam mitgerissen werden, und ist der Gebrauch solchen Materiales in solidem Zustande vorzuziehen.

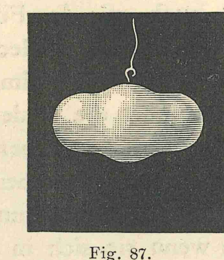
---

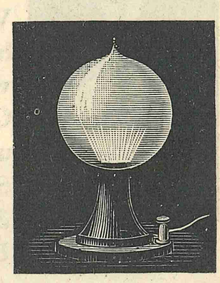
[1]) Diese Phosphorescenz hat einen ungewöhnlichen Glanz. Die Fig. 86, 87, 88 geben eine schwache Vorstellung von dem funkelnden Aussehen einiger Crookes'schen Röhren, enthaltend Schwefelcalcium (helles Gelb), Yttrium (grün), Rubinen, eine Erdbeere vorstellend (roth) u. s. w. Tesla hat auch mehrere Röhren vorgezeigt, deren innere Fläche mit phosphorescirenden Substanzen belegt waren. In diesen Experimenten mischt sich die Phosphorescenz des Glases mit dem Scheine der in der Röhre enthaltenen Substanz und es erweist sich, dass die Wirkung besonders am Aequator am intensivsten ist, d. h. wenn ein Glaskörper in der Form einer Kugel oder Birne, in welchem ein dünner Kohlenfaden enthalten ist, benutzt wird (Fig. 89). Raverot's Beschreibung der Pariser Experimente Tesla's.)



**Röhren mit Condensatorbelegungen.** Anstatt den Erfolg von der Induction auf Entfernung abhängig zu machen, kann man die Röhre mit einer äusseren — oder wenn es wünschenswerth erscheint, auch mit


Fig. 86.


Fig. 87.


Fig. 88.

Phosphorescirende Vacuumröhren.

einer inneren Condensatorbekleidung versehen, und man mag die Röhre dann irgendwo im Raume an einem Leiter aufhängen, welcher mit dem einen Spulenende verbunden ist. Auf diese Weise kann eine sanfte Beleuchtung erreicht werden.

**Eine ideale Beleuchtungsweise.** „Das Ideal der Beleuchtung eines Raumes würde es sein, einen solchen Zustand zu schaffen, dass ein geeigneter Beleuchtungsapparat auf irgend eine beliebige Stelle gesetzt und daselbst zum Leuchten gebracht werden könnte, ohne dass derselbe deswegen mit irgend einem Leiter elektrisch, d. i. durch einen Draht, verbunden werden müsste. Tesla ist es gelungen, einen solchen Zustand zu schaffen, indem er in einem Raume ein kräftiges, rapid wechselndes elektrostatisches Feld schuf. Zu diesem Behufe wird in dem Raume auf Isolirschnüren

ein Blechstück in einer gewissen Entfernung von der Decke aufgehangen, welches Blech mit dem einen Spulenende verbunden ist, während das andere Spulenende mit der Erde in Verbindung gebracht wird.[1]) Tesla hängt auch, wie in Fig. 90 gezeigt wird, zwei solcher Blechstücke, deren Grösse sorgfältig bestimmt wurde, auf, und verbindet die beiden mit je einem Spulenende. Eine luftleere Röhre in den Zwischenraum zwischen den beiden Blechen gebracht, beginnt zu leuchten; selbst wenn sie sich in einer gewissen Entfernung unterhalb derselben befindet, bleibt sie immer hell. Weitere Experimente im elektrostatischen Felde wurden von Tesla in London ausgeführt. Er nahm eine Vacuumröhre in die Hand, schwang sie hin und her und sie erhellte sich. Eine andere Röhre, in welcher

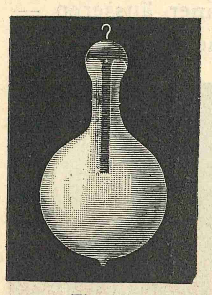


Fig. 89. Phosphorescirende Vacuumröhre.

[1]) „Eine Metallplatte von ungefähr 3 Meter Länge und $^1/_3$ Meter Breite war ungefähr $2^1/_2$ Meter über dem Platz des Vorlesers aufgehangen (Fig. 91); das elektrostatische Feld erstreckte sich über den Raum, wo sich der Experimentirende aufhielt, zwischen der Platte und dem Boden, welche während des Experimentes mit den Polen der Entladung verbunden waren. Luftleere Röhren von mehr als 1 Meter Länge, welche von Tesla in der Hand gehalten und im Feld vorgezeigt wurden, erhellten sich in ihrer ganzen Länge mit bis an Erleuchtung streifendem Schein, dessen fahler Ton an den Mondschein erinnerte. Man könnte sie mit einem leuchtenden Schwert in der Hand eines richtenden Erzengels vergleichen. Die Erscheinung ist sehr schön und von einem grossen Effect." (Raverot „Les Expériences de M. Tesla", Lumière Electrique XLIII, No 9.)



das Vacuum ebenfalls hoch war, erhellte sich nicht. Er erregte sie mit einer Inductionsspule und sie leuchtete auf. Solche Röhren bleiben lange Zeit, oft Monate lang, in Erregung. Tesla fragt sich: „Welche Veränderung habe ich durch die Erregung in der Röhre hervorgebracht? Wurden die Atome in eine Bewegung versetzt, so ist es schwer zu verstehen, dass sich diese so lange erhalten kann, ohne durch Reibungsverluste zum Aufhören gebracht zu werden. Wurde im Dielektricum eine Spannung hervorgebracht, wie eine solche durch einfache Elektrisirung erreicht wird, so kann man wohl begreifen, dass sie sich lange erhält, aber es wird schwer zu verstehen, warum ein solcher Zustand zur Erregung mithelfen sollte, wenn wir es mit Potentialen zu thun haben, die rapid wechseln."

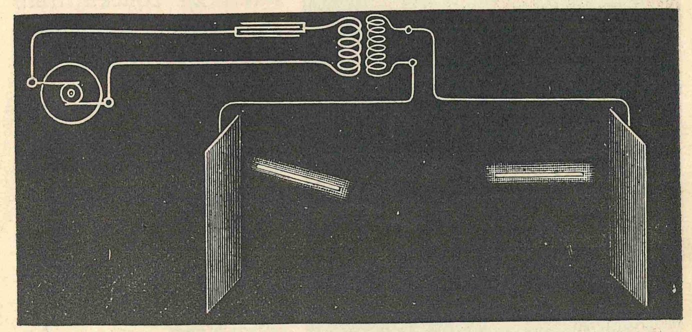


Fig. 90. Das Ideal einer Beleuchtungsart. Elektrodenlose Vacuumröhren, welche sich im elektrostatischen Felde erhellen.

**Glühwirkungen im elektrostatischen Felde.** Tesla hat im elektrostatischen Felde nicht nur das Aufleuchten der Vacuumröhren zu Stande gebracht, sondern

er hat auch in eine solche Röhre eingeschlossene Körper: Kugeln, Drähte oder Fäden ins Glühen gebracht.

Um dieses Resultat zu erreichen, war es nothwendig, den grössten Theil der im elektrostatischen Felde vorhandenen Energie auf einen kleinen, glühend zu machenden Gegenstand zu concentriren. Fig. 92 und 93 stellen zwei solche Röhren mit Glühkörpern vor. In Fig. 92 ist eine an eine lange Röhre $T$ angeschmolzene kurze Röhre $T_1$ mit einem Hälter $s$ versehen, in welchen ein Platindraht eingeschmolzen ist. An diesem Draht ist ein sehr dünner Kohlenfaden $l$ angebracht. Ein Stück Kupferdraht $w$ dient als Zuleitung.

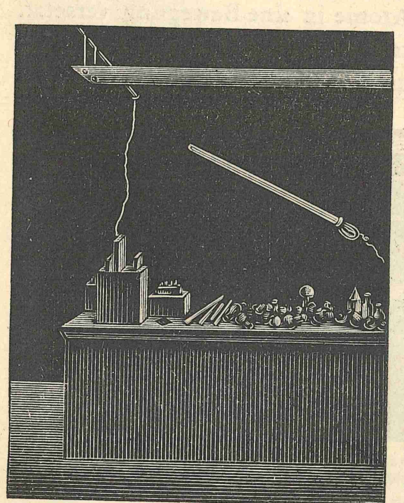


Fig. 91. Das Ideal einer Beleuchtungsart.

Die Röhre ist mit äusseren und inneren Belegungen $G\,G_1$ versehen, und ist, so hoch die Belegungen reichen, mit leitendem, und darüber hinaus mit isolirendem Pulver gefüllt. Diese Belegungen sind nur deshalb angewendet, um mit der Röhre zweierlei Experimente ausführen zu können, nämlich: um den gewünschten Effect entweder durch Verbindung des



Kupferdrahtes $w$ mit dem Körper des Experimentators (oder mit einem anderen Körper) oder aber mittelst inductiver Wirkung durch den Glaskörper hervorzubringen. Der Hälter $s$ ist mit einer Aluminumröhre $a$ versehen und ragt bloss ein kleiner Theil des Kohlenfadens aus derselben hervor. An welchem Punkte des elektrostatischen Feldes nun immer die Röhre $T_1$ gehalten werden möge, wird der Kohlenfaden glühend werden.

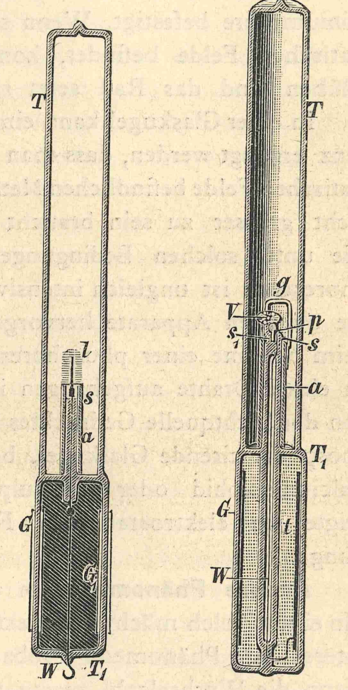



Fig. 92. Röhre mit glühendem Kohlenfaden.

Fig. 93. Experiment in elektrostatischem Felde.

Die in Fig. 93 gezeigte Röhre ist interessanter. Ihre Construction ist dieselbe wie die soeben beschriebene, nur wird statt des Kohlenfadens ein kleiner, in den Hälter $s$ eingeschmolzener Platindraht $p$ angewendet, welcher oben in einen Kreis gebogen wird. Er wird mit dem Kupferdraht $w$ verbunden, welcher an die innere Belegung $C$ angeschlossen ist. Ein kleiner

Hälter $s_1$ trägt eine Nadel, auf deren Spitze ein kleines Flügelrad $v$ aus Glimmer rotiren kann. Um dasselbe zu sichern, ist ein dünner Glashälter $g$ an der Aluminiumröhre befestigt. Wenn sich die Röhre im elektrostatischen Felde befindet, kommt der Platindraht ins Glühen und das Rad setzt sich in schnelle Drehung.

In einer Glaskugel kann einfach dadurch Phosphorescenz erzeugt werden, dass man sie mit einer im elektrostatischen Felde befindlichen Metallplatte verbindet, welche nicht grösser zu sein braucht als ein Lampenschirm. Die unter solchen Bedingungen hervorgerufene Phosphorescenz ist ungleich intensiver als jene, welche durch die üblichen Apparate hervorgebracht wird. Man kann beim Scheine einer phosphorescirenden Lampe, welche an einem Drahte aufgehangen ist, bis auf sechs Schritte von der Lichtquelle Gedrucktes lesen. Eine Crookes'sche phosphorescirende Glaskugel, besonders jene, in welchen Calciumsulphid oder Zinksulphid eingeschlossen war, zeigte im elektrostatischen Felde glänzende Erscheinungen.

**Andere Phänomene im elektrostatischen Felde.**

„In einem solch mächtigen elektrostatischen Felde können interessante Phänomene beobachtet werden, besonders wenn die Wechselzahl gering und die Potentialdifferenz ausserordentlich hoch ist. Ausser dem in der Röhre hervorgerufenen Lichteffect kann man wahrnehmen, dass jeder isolirte Leiter Funken von sich giebt, wenn man ihm die Hand nähert, und diese Funken sind oft sehr kräftig. Wenn ein grosser leitender Körper an einem isolirten Hälter befestigt und demselben die Hand genähert wird, fühlt man eine von der rhythmischen Bewegung der Luftmolecüle herrührende Vibration und es brechen aus dem Leiter Lichtströme hervor, wenn man die Hand einer spitzigen Hervorragung dieses Leiters nähert. Wenn eine oder beide Klemmen eines Telephonempfängers einen isolirten Leiter von gewisser Grösse berühren, lässt das Telephon einen lauten Ton hören; es bringt ebenfalls Töne hervor, wenn an eine seiner Klemmen eine Drahtlänge angeschlossen wird, und in einem sehr kräftigen Feld tönt das Telephon, ohne alle andere Beigabe, von selbst.



**Die praktische Verwerthung dieser Phänomene.**

„In welcher Weise diese Erscheinungen praktisch zu verwerthen sind — sagt Tesla — bleibt der Zukunft überlassen. Man mag annehmen, dass elektrostatische Kräfte zu Wirkungen auf Entfernung ungeeignet seien. Man mag denken, dass elektromagnetische Effecte zur Erzeugung von Licht besser geeignet sein würden. Es ist wahr, dass die elektrostatischen Wirkungen nahezu mit dem Cubus der Entfernung von der Spule, abnehmen, während die elektromagnetischen Inductionseffecte einfach mit der Entfernung abnehmen. Wenn wir aber ein elektrostatisches Feld herstellen, wird die Sachlage eine andere, weil wir dann anstatt des differentialen Effectes der beiden Spulenenden, deren vereinigten Effect erhalten.

Tesla macht darauf aufmerksam, dass in einem wechselnden elektrostatischen Felde ein Leiter, wie beispielsweise eine luftleere Röhre, den grössten Theil der

Energie aufzunehmen sucht, während in einem wechselnden elektromagnetischen Felde der Leiter die wenigste Energie absorbiren will, nachdem die Wellen mit nur geringem Verluste reflectirt werden. Dies ist ein Grund für die Schwierigkeit, eine luftleere Röhre auf Entfernung mittelst elektromagnetischer Induction zu erregen.

Tesla hat Spulen von grossem Durchmesser und mit zahlreichen Wickelungen construirt und eine Geissler'sche Röhre mit den Spulenenden leitend verbunden, um die Röhre auf Entfernung zu erregen, aber selbst mit den kräftigen Inductionseffecten der Entladung einer Leydener Flasche, konnte die Röhre nur auf geringe Entfernung erregt werden. Tesla hat ebenso gefunden, dass selbst die kräftigsten Entladungen von Leydener Flaschen in geschlossenen luftleeren Röhren nur schwache Lichteffecte hervorbringen, und selbst diese Effecte sind nach reiflicher Erwägung als elektrostatische zu betrachten.

**Resonanz.**[1]) „Wie können wir also hoffen — sagt Tesla weiter — mittelst elektromagnetischer Wirkung die

[1]) „Erhält ein Punktsystem, welches fähig ist, Schwingungen von bestimmter Dauer um seine Gleichgewichtslage auszuführen, in regelmässigen Intervallen gleiche Anstösse, so geräth dasselbe in periodische Bewegung. Die Abweichungen von der Gleichgewichtslage hängen dabei wesentlich von der Anzahl jener Stösse in der Zeiteinheit ab und erreichen ein Maximum, wenn diese Zahl mit der Schwingungszahl des Systems (bei Nichtberücksichtigung der Reibung) übereinstimmt. Diese Erscheinung bezeichnet man, entsprechend ihrer Bedeutung für die Akustik, als Resonanz.



gewünschten Effecte auf Entfernung hervorzubringen, wenn wir selbst in nächster Nähe der Störungsquelle, unter den günstigsten Bedingungen, nur schwaches Leuchten erzielen können? Es ist wohl wahr, dass wir bei Wirkungen auf Entfernung die Resonanz zu Hilfe nehmen können. Wir könnten eine luftleere Röhre oder einen anderen zur Lichtabgabe bestimmten Gegenstand mit irgend einem isolirten Gegenstand von entsprechender Capacität verbinden, und es mag hierdurch möglich werden, die Wirkung qualitativ zu erhöhen, aber bloss qualitativ, denn wir können durch die erwähnte Anordnung grössere Energie nicht erhalten. So können wir mit Resonanzwirkung in einer luftleeren Röhre die zur Erzielung eines schwachen Leuchtens nöthige elektromotorische Kraft hervorbringen, wir können aber nicht genug Energie bekommen, um das Licht praktisch verwerthbar

Es seien nun beispielsweise die beiden Belegungen eines Condensators durch eine Drahtrolle leitend verbunden. Wird in derselben ein elektrischer Strom inducirt, so bringt derselbe in der Leitung durch abwechselnde Ladung und Entladung des Condensators und dem entsprechende Inductionsvorgänge, elektrische Schwingungen von bestimmter Dauer, aber mit schnell abnehmender Amplitude hervor. Die periodischen Verschiebungen des Stromes, welche gleichzeitig in der ganzen Strombahn erfolgen, sind durchaus vergleichbar mit den Schwingungen eines Punktes oder Punktsystems. Wenn daher die Inductionsstösse in kurzen Zwischenräumen aufeinander folgen, so muss man erwarten, dass bei einer bestimmten Anzahl derselben in der Zeiteinheit die Amplitude der elektrischen Schwingungen ein Maximum erreicht, nämlich

zu machen. Eine einfache, auf praktische Resultate beruhende Berechnung zeigt uns, dass selbst in dem Falle, als alle Energie, welche eine Röhre in einer gewissen Entfernung von der Quelle erhalten mag, gänzlich in Licht umgewandelt werden würde, dasselbe kaum den praktischen Anforderungen entsprechen würde. Es entsteht daher die Nothwendigkeit, die Energie mitteist Leiter auf den Ort der Umwandlung zu bringen. Wenn wir dies aber thun, entfernen wir uns nur wenig von den bereits gebräuchlichen Methoden, und alles, was wir auf diesem Wege erreichen könnten, wäre bloss eine Verbesserung der bestehenden Apparate.

---

dann, wenn die dem Stromkreis eigenthümliche Schwingungszahl mit der Anzahl der von aussen kommenden Stromstösse übereinstimmt. Man kann diese Erscheinung als Resonanz elektrischer Schwingungen bezeichnen.

Man stelle sich einen primären Leiter vor, in dessen Schliessungskreis sich eine Funkenstrecke befindet. Durch Entladungen eines Funkengebers im primären Kreis rufen wir in einem secundären, ebenfalls durch eine Funkenstrecke unterbrochenen Schliessungskreise, gleichfalls (wenn auch feinere) Funken hervor. Wird in dem secundären Kreis die Funkenlänge ein Maximum, so ist in ihm die Periode der elektrischen Bewegung dieselbe wie im Primärkreis: der Secundärkreis wirkt als Resonator.

Siehe Oberbeck: „Ueber eine der Resonanz ähnliche Erscheinung bei elektrischen Schwingungen." Wied. Ann. Band XXVI, p. 245. — Helmholtz: Lehre von den Tonempfindungen. Beilage VIII. — Helmholtz: Verhandl. des naturh. med. Vereines zu Heidelberg 1869. Gesamm. Abh. Band I, p. 531. — Fleming: „The Function of the Condenser in an induction coil." The Electrician, May 31, 1889. (Hinweis auf die Arbeiten Fizeau's und Lord Raleigh's.)



„Es ist klar, dass, falls es uns gelingen sollte, die Resonanzeffecte beim Betriebe elektrischer Apparate in praktische Verwendung zu bringen, wir den Rückleitungsdraht entbehren könnten, da ja doch die elektrische Vibration ebensogut mittelst eines einzigen Drahtes, ja manchmal sogar besser mit einem, anstatt mit zwei Drähten, übermittelt werden kann. Die Frage ist, ob wir die Möglichkeit besitzen, reine Resonanzeffecte hervorzubringen. Solche sind, wie uns Theorie und Experimente lehren, in der Natur unmöglich, weil mit dem Kräftigerwerden der Oscillation die Verluste in den vibrirenden Körpern und in den umgebenden Medien rapid anwachsen, und natürlich die Vibration aufheben, welche sonst, fortwährend zunehmend, ewig andauern müsste. Bis zu einem gewissen Grade kann jedoch Resonanz hervorgebracht werden, deren Wirkungen durch die unvollkommene Leitungsfähigkeit und durch die unvollständige Elasticität des Mediums, oder, im Allgemeinen gesprochen, durch Reibungsverluste besckränkt werden. Je geringer diese Verluste sind, desto augenscheinlicher treten die Wirkungen auf. Die elektrische Resonanz wird um so vollkommener, je geringer der Widerstand oder die Impedanz des leitenden Pfades und je besser das Dielektricum ist. Bei der Entladung einer Leydener Flasche in ein kurzes, aus feinen Drähten zusammengedrehtes Kabel wird diesen Vorbedingungen wahrscheinlich am besten nachgekommen, und sind deshalb auch die Resonanzeffecte bedeutende, während in Dynamomaschinen, in Transformatoren und ihren Stromkreisen gerade das Gegentheil statthat, indem

das Vorhandensein von Eisenkernen die Resonanzwirkungen entweder hindert oder ganz aufhebt.

„Was die Erhöhung des Potentials anlangt, welche mit Hilfe der Resonanzwirkungen bewerkstelligt werden kann, so kann das Potential theoretisch deswegen auf eine beliebige Höhe gebracht werden, weil es von der Selbstinduction und vom Widerstande abhängt, und diese beiden einen beliebigen Werth haben können. In der Praxis sind uns aber bei der Wahl dieser Grössen Grenzen gezogen. Man kann beispielsweise mit 1000 Volts beginnend, die elektromotorische Kraft auf das Fünfzigfache dieses Werthes bringen; man könnte aber keineswegs mit 100.000 Volts beginnen und diese beispielsweise auf das Zehnfache ihres Werthes erhöhen wollen, weil die Verluste in den Medien besonders dann, wenn die Wechselzahl eine grosse ist, bedeutende sind. Es war unmöglich, mit von Dynamomaschinen hervorgebrachten Strömen grosse Potentialerhöhungen zu bewerkstelligen. Es ist möglich, wenn nicht wahrscheinlich, dass in mit Eisen ausgerüsteten Apparaten, wegen des störenden Einflusses des Eisens, die theoretischen Voraussetzungen nicht verwirklicht werden können; ist dies aber wirklich der Fall, dann kann die Störung nur der Hysteresis und den Foucaultströmen zugeschrieben werden.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass in allen Energieäusserungen der Natur die Resonanz eine bedeutende Rolle spielt. Alle Materie im Raume vibrirt, es giebt die verschiedensten Vibrationsgeschwindigkeiten, vom tiefsten musikalischen Ton angefangen bis zur höchsten



Vibration der chemischen Strahlen; es muss daher ein Atom oder ein Complex von Atomen, welch immer auch seine Periode sei, eine Vibration finden, mit welcher es in Resonanz ist. Wenn wir uns nun die ungeheuere Geschwindigkeit der Lichtvibrationen vor Augen halten, so müssen wir erkennen, dass es unmöglich sei, solche Vibrationen direct, mit Hilfe eines Apparates von messbaren Dimensionen, hervorzubringen. Wir gelangen daher von selbst zur Erkenntniss des einzig möglichen Weges, dem vorgesteckten Ziele nahezukommen, und diese ist, mit elektrischen Mitteln Lichtwellen hervorzubringen, und zwar auf eine ökonomische Weise, indem wir die Molecüle oder Atome eines Gases stören, dieselben in Collision miteinander bringen und sie in Vibration versetzen. Wir müssen uns nun fragen: Wie können freie Molecüle oder Atome gestört werden?

„Es ist, wie aus vielen der hier beschriebenen Experimente hervorgeht, eine Thatsache, dass die freien Molecüle oder Atome durch elektrostatische Kraft gestört werden können. Mittelst wechselnder elektrostatischer Kraft können wir die Atome in Bewegung versetzen, sie unter Entwickelung von Hitze und Licht in Collision bringen. Es ist freilich noch nicht erwiesen, dass wir sie nicht auch auf anderem Wege in Störung versetzen könnten. Wenn wir in einer in sich selbst geschlossenen Vacuumröhre mittelst elektrostatischer Induction ein Lichtband hervorbringen, ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass wir dies auch mittelst elektrodynamischer Induction zu Stande brächten. Es wurde aber bis jetzt doch noch nicht der Beweis erbracht,

dass sich in einer geschlossenen Röhre die Atome eines Gases, auch unter der Einwirkung eines durch elektrodynamische Induction hervorgebrachten elektromotorischen Impulses, in Ketten ordnen würden, wie dies durch elektrostatische Induction bewirkt werden kann. — Oder ist der Vorgang in der Vacuumröhre vielleicht elektrolytischer Natur? Gewisse Umstände würden für diese Annahme sprechen, nämlich: die Zerstörung der Elektroden und die graduell fortschreitende Verminderung des Vacuums. Wenn aber ein solcher Vorgang wirklich statthat, so müssen wir wieder zu Strömen hoher Wechselzahl unsere Zuflucht nehmen, weil durch dieselben die elektrolytische Action auf ein Minimum beschränkt, wenn nicht ganz verhindert wird. Es ist eine unbestreitbare Thatsache, dass bei Impulsen harmonischer Natur, wie solche beispielsweise durch eine Wechselstrommaschine hervorgebracht werden, die Zerstörung der Elektroden eine geringere und das Vacuum ein beständigeres ist.

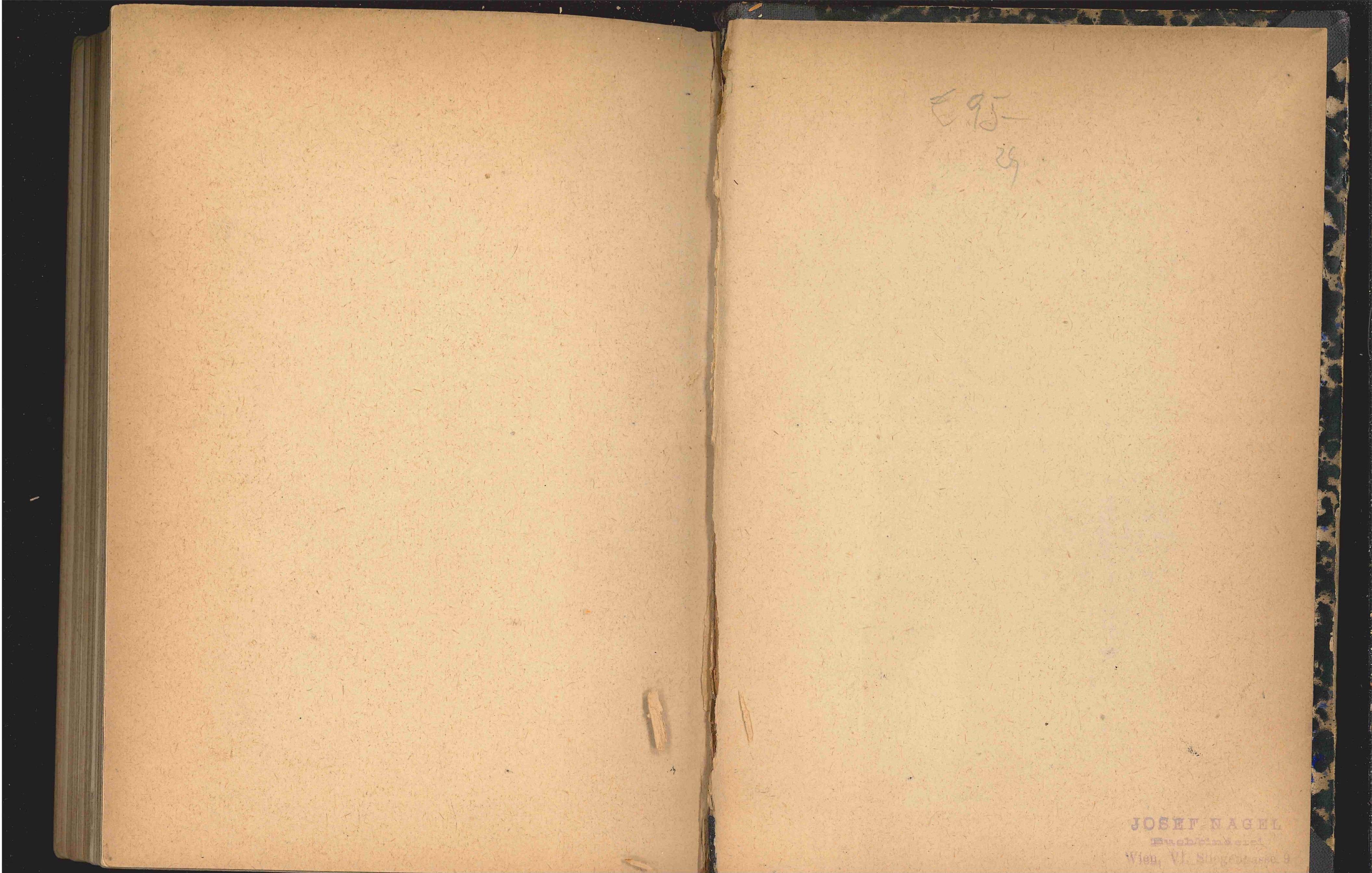
**Schlusswort.** Bei der Vorführung der in diesem Buche enthaltenen Experimente hat es Tesla nicht versucht, dieselben zu ordnen und in Zusammenhang zu bringen, wie dies bei einer rein wissenschaftlichen Untersuchung zu geschehen hätte, in welcher jedes Resultat die logische Consequenz des vorhergegangenen sein sollte. Tesla hat es vorgezogen, seine Bemühungen hauptsächlich darauf zu concentriren, neue Thatsachen und Ideen vorzuführen, welche Andere zu Folgerungen anregen sollen, und dies mag gleichsam als Entschuldigung für den Mangel an Zusammenhang gelten,



welcher diesem Werke eigen ist. Die Erklärung der verschiedenen Phänomene geschah in gutem Glauben und in dem Geiste eines Forschers, welcher darauf vorbereitet ist, dass dieselben eventuell eine bessere Auslegung finden könnten.

*„There can be no great harm in a student taking an erroneus view, but when great minds err, the world must dearly pay for their mistakes."*




JOSEF NAGEL
Buchbinderei
Wien, VI. Stiegengasse 9